

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«На правах рукопису»
УДК 621.316.925:621.311

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«10» грудня 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Управління, захист та
автоматизація енергосистем»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

на тему: «Релейний захист підстанції 330/35 кВ»

Виконала:

студентка VI курсу, групи ЕК-91мп

Шкурат Анна Ігорівна

Науковий керівник:

к.т.н., доцент Дмитренко Олександр Олексійович

Консультант з охорони праці:

д.т.н., професор Третьякова Лариса Дмитрівна

Консультант з стартапу:

старший викладач Бахмачук Сергій Васильович

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«10» грудня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці

Шкурат Анні Ігорівні

1. Тема дисертації «Релейний захист підстанції 330/35 кВ», науковий керівник дисертації Дмитренко Олександр Олексійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від 09.11.2020 №3260-с.
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2020 р.
3. Об'єкт дослідження - електрична підстанція 330/35 кВ «Тилігул»
4. Вихідні дані – головна схема електричних з'єднань ПС 330/35 кВ «Тилігул», стандарти НЕК «УКРЕНЕРГО», технічна документація пристроїв РЗА виробництва SIEMENS.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити – розгляд головної схеми підстанції, розрахунок струмів КЗ у заданих точках, вибір типів та пристроїв релейного захисту ПС 330/35 кВ «Тилігул», розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту автотрансформатору.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу - головна схема електричних з'єднань ПС 330/35 кВ «Тилігул», результати розрахунку струмів КЗ, типи та пристрої РЗА ПС, функції, аналогові ланцюги та результати розрахунку уставок пристрою диференційного захисту автотрансформатору,
7. Орієнтовний перелік публікацій – 1 стаття

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Третьякова Лариса Дмитрівна д.т.н., професор		
Стартап	Бахмачук Сергій Васильович старший викладач		

9. Дата видачі завдання 09.11.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з головною схемою електричних з'єднань ПС 330/35 кВ «Тилігул»	15.11.2020 р.	
2	Розрахунок струмів КЗ	18.11.2020 р.	
3	Ознайомлення зі стандартами НЕК «УКРЕНЕРГО» щодо вимог до пристроїв РЗА, технічною документацією пристроїв РЗА виробництва SIEMENS	22.11.2020 р.	
4	Вибір типів та пристроїв релейного захисту ПС 330/35 кВ «Тилігул»	28.11.2020 р.	
5	Розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту автотрансформатору	05.12.2020 р.	
6	Розділ з охорони праці	08.12. 2020 р.	
7	Стартап	08.12. 2020 р.	
8	Оформлення пояснювальної записки	09.12. 2020 р.	
9	Оформлення графічного матеріалу	09.12. 2020 р.	

Студент

Науковий керівник




Анна ШКУРАТ

Олександр ДМИТРЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на 74 аркушах, 22 таблицях, 13 рисунках, 7 технічних плакатах та має 20 посилання, яка містить 3 основні розділи, стартап-проект та розділ з охорони праці.

Актуальність теми – для нових електричних підстанцій проектується обладнання, у тому числі і обладнання релейного захисту, до якого висуваються підвищені вимоги щодо надійності, функціональності, резервування, інтеграції у АСК ТП.

Мета дослідження – вибір та розрахунок уставок диференційного захисту силового трансформатора 330/35 кВ згідно стандартів НЕК «Укренерго».

Об'єкт дослідження – електрична підстанція 330/35 кВ «Тилігул».

Предмет дослідження - релейний захист трансформатору 330/35 кВ.

Методи дослідження – методики розрахунку струмів КЗ, методика вибору пристроїв РЗА Siemens, методика розрахунку уставок диференційного захисту 7UT8х.

Апробація результатів дисертації - міжнародна науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехіки та автоматики».

Публікації - Вітчизняні мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики. Дмитренко О.О., Шкурат А.І. Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенергетики та автоматики".

Ключові слова: КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ТРАНСФОРМАТОР, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ, 7UT86

ABSTRACT

The master's dissertation is made on 74 sheets, 22 tables, 13 figures, 7 technical boards and has a 20 link that contains 3 main sections, a startup project and a section on labor protection.

Topicality of the topic - equipment is being designed for new electrical substations, including relay protection equipment, which is subject to increased requirements for reliability, functionality, redundancy, integration into the ASC TP.

The purpose of the research - selection and calculation of 330/35 kV power transformer differential protection settings according to NEC Ukrenergo standards.

The object of the study - electric substation 330/35 kV "Tiligul".

Subject of research - relay protection of the 330/35 kV transformer.

Research methods - methods for calculating short-circuit currents, methods for selecting Siemens relay protection devices, methods for calculating 7UT8x differential protection settings.

Approbation of the dissertation results - international scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation".

Publications - Domestic microprocessor devices of relay protection and automation. Dmitrenko O.O., Shkurat A.I. International scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students "Modern problems of power engineering and automation".

Keywords: SHORT CIRCUIT, RELAY PROTECTION, TRANSFORMER, DIFFERENTIAL PROTECTION, 7UT86

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП	7
1 ГОЛОВНА СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 330/35 КВ ТИЛГУЛ, РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ.....	8
1.1 Опис головної семи електричних з'єднань	8
1.2 Розрахунок струмів короткого замикання.....	12
Висновки	18
2 ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДСТАНЦІЇ.....	19
2.1 Вимоги до релейного захисту	19
2.1.1 Вимоги до релейного захисту ліній 330 кВ.....	20
2.1.1.1 Вибір основного захисту	20
2.1.1.2. Вибір резервного захисту	21
2.1.1.3 Керування комутаційним обладнанням.....	22
2.1.2 Вимоги до релейного захисту трансформаторів.....	22
2.1.3 Вимоги до релейного захисту ліній 35 кВ.....	23
2.1.4 Вимоги до релейного захисту шин 330 кВ	23
2.2 Вибір релейного захисту ПС.....	24
2.2.1 Релейний захист ліній 330кВ	25
2.2.2 Релейний захист трансформаторів	29
2.2.3 Релейний захист мережі 35 кВ.....	31
2.2.4 Релейний захист шин 330 кВ	32
Висновки	32
3 ФУНКЦІЇ ПРИСТРОЮ РЗА 7UT86 ТА РОЗРАХУНОК УСТАВОК.....	33
3.1 Функції пристрою РЗА 7UT86	33
3.1.1. Призначення та загальні функції.....	33
3.1.2. Диференційний захист.....	36
3.2 Розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту	45
3.2.1 Вирівнювання струмів	46
3.2.2 Розрахунок уставок тормозної характеристики диференційного захисту	47

3.2.3 Розрахунок уставок диференційної відсічки.....	48
3.2.4 Перевірка чутливості захисту	49
3.3. Розрахунок уставок спрацювання резервних захистів трансформатору..	50
3.3.1. Розрахунок уставок спрацювання струмової відсічки сторони 330 кВ	50
3.3.2.1. Розрахунок уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатору сторони 330 кВ.	52
3.3.2.2. Розрахунок уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатору сторони 35 кВ.	52
3.3.3. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження трансформатору	52
3.3.3.1. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження сторони 330 кВ трансформатору	53
3.3.3.2. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження сторони 35 кВ трансформатору	53
Висновки	53
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	54
4.1 Опис ідеї проекту	54
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	56
4.3 Фінансово-економічний аналіз проекту	58
4.4 SWOT- аналіз стартап-проекту.....	59
4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту	60
Висновки	60
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ.....	61
5.1 Загальна характеристика об'єкта.....	61
5.2 Визначення обсягів робіт під час експлуатації	62
5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях.....	62
5.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників....	63
5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці.....	63
5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	65
5.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій	67

5.8 Розрахунок заземлювального пристрою.....	69
Висновки	70
ВИСНОВКИ.....	72
ЛІТЕРАТУРА	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВВ-обмотка високої напруги

НН-обмотка низької напруги

ПУЕ-«Правил улаштування електроустановок»

РЗ-релейний захист

КЗ коротке замикання

ТС-трансформатор струму

ТН-трансформатор напруги

СВ струмова відсічка

МСЗ-максимальний струмовий захист

ДЗ-дистанційний захист

КТ-коефіцієнт трансформації

ТВП-трансформатор власних потреб

ПЛ-повітряні лінії

ВСТУП

Основою електроенергетики України є об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка виконує централізоване енергозабезпечення споживачів і має зв'язок з енергосистемами інших країн, виконує експорт та імпорт електроенергії.

Енергетична система (енергосистема) - сукупність електростанцій, електричних та теплових мереж, з'єднаних між собою і пов'язаних загальним режимом у безперервному процесі виробництва, перетворення й розподілення електроенергії та тепла за умови загального керування цим процесом.

Електроенергетична система – сукупність з електроустаткування системи постачання електроенергії та об'єднаних єдиним режимом споживачів електричної енергії які становлять єдине ціле.

Перетворення класу напруг на ПС виконується трансформаторами, які можуть бути пошкоджені внаслідок аварії. Щоб запобігти цьому використовуються засоби релейного захисту.

Релейний захист - протиаварійна автоматики, що здійснює надійну роботу електроенергетичної системи.

1 ГОЛОВНА СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 330/35 КВ ТИЛІГУЛ, РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ

1.1 Опис головної семи електричних з'єднань

Головною схемою електричних з'єднань підстанції є сукупність трансформаторів, ЛЕП й іншого основного електроустаткування, збірних шин, комутаційної й іншої первинної апаратури.

Обрана головна схема відповідає проекту «Нове будівництво ПС 330 кВ «Тилігул» з заходами ЛЕП 330 кВ для приєднання вітрової електростанції «ДТЕК Тилігульська вітроелектростанція» на території Березанського району, Миколаївської області, 2020 р.". ПС «Тилігул» призначена для зв'язку з ВЕС по лініям 35кВ. За проектними рішеннями ПС «Тилігул» врізається в лінію 330кВ між ПС «Прогресівка» 330/110/35кВ та ПС «Трихати» 330/150/35/10кВ. Принципова схема підстанції 330/35 кВ «Тилігул» приведена на технічному плакаті 1.

На ПС 330/35 кВ «Тилігул» КРПЕ-330 кВ проектується за схемою «чотирикутник» з підключенням 4х трансформаторів до с.ш. 330 кВ. Для нормальних умов роботи підстанції використовується таке обладнання:

- дві повітряні лінії ПЛ-330 кВ підключені до ПС «Прогресівка» та до ПС «Трихати»;
- обмежувачі перенапруг для захисту обладнання системи електропостачання від грозових та комутаційних перевантажень;
- два високочастотних загороджувача для створення високочастотних каналів зв'язку з метою забезпечення передачі сигналів протиаварійної автоматики, релейного захисту телефонного зв'язку та телемеханіки;
- КРПЕ 330кВ для прийому, передачі та розподілу електроенергії напругою 330 кВ;
- два 3-фазних 2-обмоткових автотрансформатори ТДЦН 160000/330 кВ з вбудованими трансформаторами струму. Трансформатори з примусовою циркуляцією повітря та масла та з регулюванням напруги під навантаженням на

стороні ВН. З параметрами трансформатору ТДЦН 160000/330 можна ознайомитись у табл. 1.1. [1]

- чотири комплектних розподільних пристрої зовнішньої установки закритого типу КРПЗ-35 призначені для прийому, трансформації, передачі і розподілу електроенергії в трифазних енергетичних системах з частотою струму 50 (60*) Гц і напругою 35 кВ;
- КРПЗ-35кВ з комірками ABB типу UniGear ZS3.2 складаються з модульних блоків, з вбудованими в них осередками КРУ і міжблочні сполучення головних і допоміжних ланцюгів;
- два силових трансформатори власних потреб (ТВП) ТМН 400/35/0,4 охолоджуючий з природньою циркуляцією повітря, масла та регуюванням напруги під навантаженням. Трансформатори призначені для живлення навантаження підстанцій, КРУН, КРП, для забезпечення своїх потреб. ТВП забезпечує роботу електроустановки і функціональність підключених споживачів навантаження. З параметрами трансформатору ТМН 400/35/0,4 можна ознайомитись у табл. 1.2;
- чотири обмежувачі перенапруг SBK-IV 51/10,3;
- чотири обмежувачі перенапруг SB 288/20,4-I;
- чотири алюмінієві шини АД31Т в загартованому та штучно зістареному стані.

Таблиця 1.1 – Паспортні дані трансформатора

Тип	Номинальна напруга (кВ)	Номинальна напруга ВН (кВ)	Схема та група з'єднання обмоток	Вид охолодження	РПН	Цк
ТДЦН 160000/ 330	160000	347	Yн/Д	ДЦ	+8x15%	11%

Таблиця 1.2 – Паспортні дані трансформатора

Номинальна потужність, кВА	Номинальна вища напруга, кВ	Номинальна нижча напруга, кВ	Втрати холостого ходу, кВт.	Втрати короткого замикання, кВт.	Струм холостого ходу, %	Напряжение короткого замыкания, %	Схема і група з'єднання обмоток
400	35	0,4	0,95	6,5	1,5	6,0	У/У _Н -0

На даній підстанції на напрузі 330 кВ використовується КРПЕ - комплектний розподільний пристрій з елегазовою ізоляцією. Згідно стандарту ІЕС 60050 (441) - розподільний пристрій в металевому кожусі, заповненому, хоча б частково, не повітрям, а ізолюючим газом при атмосферному тиску". КРПЕ на напругу 330 кВ виготовляються у вигляді модулів, усередині яких розміщуються стаціонарні електричні елементи - елегазові вимикачі, роз'єднувачі, заземлювачі, трансформатори струму й напруги, збірні шини, поміщені в металеву оболонку, заповнену шестифтористой сіркою.

Практичне застосування газових герметичних компактних пристроїв почалося в 1936 р., коли в США було встановлено перший фреоновий КРП 33 кВ. Пізніше була відкрита шестифториста сірка (SF₆) - газ, що володіє значними ізоляційними й дугогасними властивостями. Перші КРПЕ з'явилися на ринку в середині 60-х років.

Конструктивно КРП з елегазовою ізоляцією являють собою герметичний бак з нержавіючої сталі, у який на весь термін служби устаткування, закачано елегаз (SF₆) під невеликим надлишковим тиском. Завдяки елегазовій ізоляції відстані між фазами й корпусом суттєво зменшені.

Оболонки окремих елементів з'єднують між собою за допомогою фланців з ущільненнями із синтетичного каучуку, етиленпропілену й інших матеріалів. У цілому елегазові розподільні пристрої секціоновані по газу. Кожна секція має свою контрольно-вимірну апаратуру. Значення тиску елегазу в КРПЕ вибирають із урахуванням створення необхідної електричної міцності. У секціях вимикачів елегаз звичайно перебуває під більшим тиском,

чому в інших секціях. Тиск елегазу для ізоляції звичайно втримується нижче 2.5 бар, у той час як для переривання електричного струму застосовується тиск від 5 до 7 бар. Часто секції заповнюють елегазом під тиском до 10 % від номінального. Витоки газу становлять менш 5 % у рік. Тиск у секціях контролюють за показниками манометрів або густинетрів при значних коливаннях температури навколишнього середовища.

Помилкові операції в КРПЕ, як правило, виключені завдяки застосуванню електричних і механічних блокувань. Його безпека забезпечується завдяки повному виключенню доступу оперативного персоналу до струмоведучих частин, високої стійкості до внутрішньої дуги й герметичності сталевих корпусу, що має ступінь захисту IP67. Положення комутаційних апаратів перевіряють по показниках положення, механічно пов'язаним з рухомими системами апаратів. Передбачені також сигналізація лампами й можливість спостереження за положенням рухливих контактів через оглядові вікна.

До складу КРПЕ-330 кВ ПС «Тилігул» входять:

- збірні шини 330кВ;
- роз'єднувачі 330кВ полупантографні з двома ЗН в колах ПЛ 330 «Трихати», з одним ЗН колах ПЛ 330 «Прогресівка»;
- трансформатори струму ІМВ 362 призначені для передачі сигналу вимірювальної інформації приладам вимірювання, захисту, автоматики, сигналізації і управління в електричних ланцюгах змінного струму промислової частоти. З параметрами трансформаторів можна ознайомитись у табл. 1.3;
- трансформатори напруги 4х-обмоткові вимірювальні, індуктивного типу з елегазовою ізоляцією NVI 420. З параметрами трансформаторів можна ознайомитись у табл. 1.4;
- вимикачі 330кВ LTB 420E2 - колонкові вимикачі з дугогасительного пристрою автокомпресійного типу, яке демонструє свої розрахункові переваги при відключенні великих струмів. З параметрами вимикачів можна ознайомитись у табл. 1.5

Таблиця 1.3 – Паспортні дані трансформатора

Тип	Номинальна напруга (кВ)	Номинальний первинний струм (А)	Номинальний вторинний струм (А)	Номинальна частота (Гц)	Клас точності вторинної обмотки	Номинальне вторинне навантаження (В-А)	Температура навколишнього середовища (° C)
ІМВ 362	330	2000	1	50	0,2S	30	-50 до + 40

Таблиця 1.4 – Паспортні дані трансформатора

Тип	Номинальна робоча напруга (кВ)	Випробувальна напруга 1 хв / 50 Гц (кВ)	Напруга грозового імпульсу 1,2 / 50 мкс (кВ)	Висота ізолятора (мм)	Температура навколишнього середовища (° C)
TVI 420	420	630	1425	3590	-50 до + 40

Таблиця 1.5 – Паспортні дані вимикача

Тип	Номинальна напруга (кВ)	Найбільша робоча напруга (кВ)	Номинальний струм (А)	Номинальний струм відключення (кА)	Струм термічної стійкості (кА)	Власний час відключення (мс)	Повний час відключення (мс)	Власний час включення (мс)
LTV 420E2	400	420	4000	50	50	18	40	70

1.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Усе, що не передбачається нормальним режимом роботи, з'єднання будь-яких точок чи між собою та з землею називається коротким замиканням, якщо струми установки при цьому поруч з місцем виникнення - різко стають більшими й дуже перевищують допустимі значення режиму.

КЗ виникають через електричні пробої, перекриття ізоляторів, механічні пошкодження електроустановок, помилкову роботу персоналу та за інших причин.

При КЗ струми у фазах приладів стають значно більшими через порівняння з нормальним значенням, а напруга падає. В електричній мережі є можливими трифазні КЗ, двофазні КЗ, двофазні на землю КЗ та однофазні КЗ.

При трифазному КЗ всі фази є в однакових умовах, тому таке КЗ називають симетричним. Інші КЗ називають не симетричними. Трифазні КЗ являються найважчим режимом із усіх видів КЗ, тому вони є визначальними для того, щоб оцінити допустимі умови для роботи елементів мережі.

Струми КЗ можуть стати причиною для пошкодження обладнання, тому вони є небезпечними для мережі. Для того, щоб захистити прилади від КЗ необхідно передбачити пристрої РЗА, улаштування параметрів для спрацювання захистів яких роблять згідно до струмів КЗ в деяких точках на енергетичному об'єкті.

Для спрощення розрахунків КЗ дозволяється використовувати наступні спрощення й умови: [2]

- В установках напругою вище 1000 В для розрахунку діючого значення періодичної складової струму КЗ, не враховують активні опори елементів.
- Не враховують насиченість магнітної системи, через що вважаються усі індуктивні опори системи постійними.
- Нехтуються намагнічуючі струми трансформатора.
- Не враховуються струми навантаження.
- Трифазна система вважається симетричною.
- Опори в точках КЗ приймаються рівними нулю.
- Напруга в точці приймається на 5% вищою за номінальне значення.

Необхідно привести параметри до базисних умов для подальшого розрахунку струмів КЗ.

$$S_6 = S_c = 540 \text{ МВА}$$

$$U_{6(330)} = 330 \text{ кВ}$$

$$U_{6(35)} = 37 \text{ кВ}$$

Наведемо параметри трансформатора ТДЦН 160000/330:

$$U_{\text{КВ-Н}} = 35 \%$$

$$U_{\text{КВ-С}} = 10 \%$$

$$U_{\text{КС-Н}} = 24 \%$$

Розрахунок КЗ виконуємо для трьох точок:

К1 – на системі шин 330 кВ

К2 – на системі шин 35 кВ(I)

К3 – на системі шин 35 кВ (II)

Проводимо розрахунок та приведення до базисних умов опір трансформатора:

Сторона ВН трансформатора

$$\begin{aligned} x_{\text{В1}} = x_{\text{В4}} = x_{\text{ТВН}} &= \frac{0,5(U_{\text{КВ-Н}} + U_{\text{КВ-С}} - U_{\text{КС-Н}})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Т6}}} = \\ &= \frac{0,5(35 + 10 - 24)}{100} \cdot \frac{540}{160} = 0,42 \text{ в. о} \end{aligned}$$

Сторона НН трансформатора

$$\begin{aligned} x_{\text{Н1}} = x_{\text{Н4}} = x_{\text{ТНН}} &= \frac{0,5(U_{\text{КВ-Н}} + U_{\text{КС-Н}} - U_{\text{КВ-С}})}{540} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Т6}}} = \\ &= \frac{0,5(35 + 24 - 10)}{100} \cdot \frac{540}{160} = 0,98 \text{ в. о} \end{aligned}$$

Розрахуємо струми для базисних умов:

$$I_{6(330)} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{6(330)}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0,279 \text{ кА}$$

$$I_{6(35)} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{6(35)}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 37} = 2,496 \text{ кА}$$

Наведемо схему заміщення підстанції рис. 1.1.

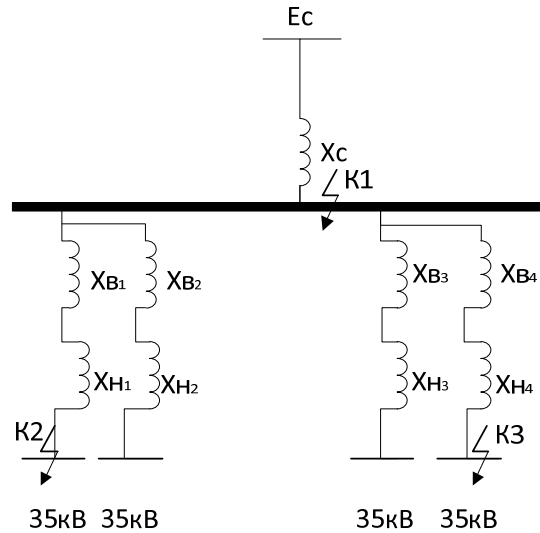


Рисунок 1.1. – Схема заміщення підстанції

Проводимо розрахунок струмів короткого замикання для точки

K1:

Схема заміщення набуває вигляду рис. 1.2.

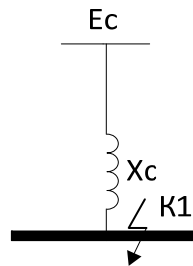


Рисунок 1.2. – Спрощена схема заміщення при КЗ в точці K1.

Еквівалентний опір для точки K1 буде рівний:

$$x_{e1} = x_c = 0,105 \text{ в. о}$$

Струм трифазного КЗ:

$$I_{кз1} = \frac{E_c}{x_{e1}} \cdot I_{6(330)} = \frac{1}{0,105} \cdot 0,279 = 2,657 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання

Приймемо $K_y = 1,78$ тоді:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз1} = \sqrt{2} \cdot 1,78 \cdot 2,657 = 6,69 \text{ кА}$$

Проводимо розрахунок струмів короткого замикання для точки K2:

Спрощена схема заміщення при КЗ в точці K2 наведена на рис. 1.3.

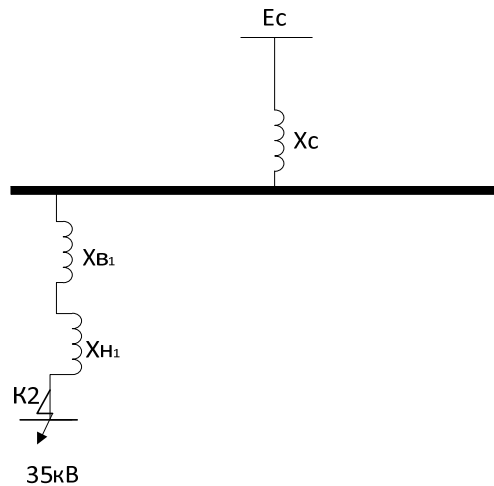


Рисунок 1.3. – Спрощена схема заміщення при КЗ в точці К2

Бачимо, що елементи з'єднані послідовно. Отже знаходимо опори:

$$x_{1_1} = x_{в1} + x_{н1} = 0,42 + 0,98 = 1.4 \text{ в. о.}$$

Схема набуває вигляду рис. 1.4.

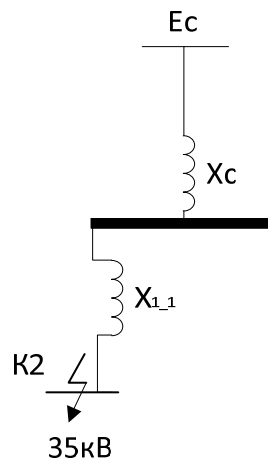


Рисунок 1.4. – Спрощена схема заміщення при КЗ в точці К2 після об'єднання послідовних елементів

Як бачимо отримані елементи послідовні. Знаходимо загальний опір при КЗ в точці 2:

$$x_{e2} = x_c + \frac{(x_{ТВН} + x_{ТЧН})(x_{ТВН} + x_{ТЧН})}{(x_{ТВН} + x_{ТЧН}) + (x_{ТВН} + x_{ТЧН})}$$

$$= 0,105 + \frac{(0,48 + 0,98)(0,48 + 0,98)}{(0,48 + 0,98) + (0,48 + 0,98)} = 0,82 \text{ в. о.}$$

Струм трифазного КЗ:

$$I_{кз2} = \frac{E_c}{x_{e2}} \cdot I_{б(35)} = \frac{1}{0,82} \cdot 2,496 = 3,043 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання

Прийmemo $K_y = 1,62$ тоді:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз2} = \sqrt{2} \cdot 1,62 \cdot 3,043 = 6,971 \text{ кА}$$

Проводимо розрахунок струмів короткого замикання для точки КЗ:

Спрощена схема заміщення при КЗ в точці КЗ наведена на рис. 1.5.

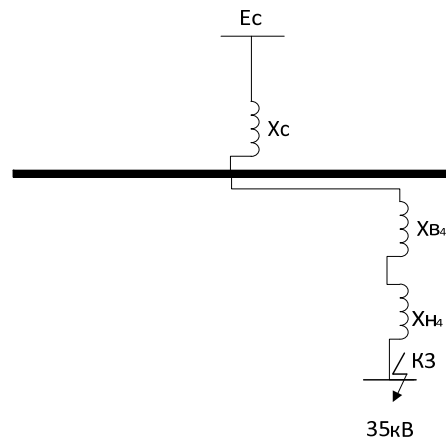


Рисунок 1.5. – Спрощена схема заміщення при КЗ в точці КЗ

Бачимо, що елементи з'єднані послідовно. Отже знаходимо опори:

$$x_{2_1} = x_{B4} + x_{H4} = 0,42 + 0,98 = 1,4 \text{ в. о.}$$

Схема набуває вигляду рис. 1.6.

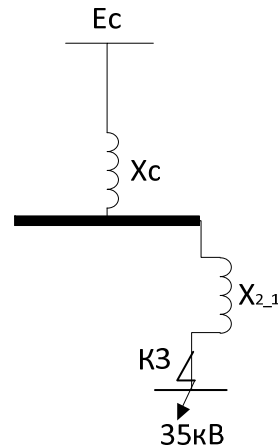


Рисунок 1.6. – Спрощена схема заміщення при КЗ в точці КЗ після об'єднання послідовних елементів

Як бачимо отримані елементи послідовні. Знаходимо загальний опір при КЗ в точці 3:

$$x_{e3} = x_c + \frac{(x_{ТВН} + x_{ТСН})(x_{ТВН} + x_{ТСН})}{(x_{ТВН} + x_{ТСН}) + (x_{ТВН} + x_{ТСН})}$$

$$= 0,105 + \frac{(0,48 + 0,98)(0,48 + 0,98)}{(0,48 + 0,98) + (0,48 + 0,98)} = 0,82 \text{ в. о}$$

Струм трифазного КЗ:

$$I_{кз3} = \frac{E_c}{x_{e3}} \cdot I_{б(35)} = \frac{1}{0,82} \cdot 2,496 = 3,043 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання

Прийmemo $K_y = 1,62$ тоді:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз3} = \sqrt{2} \cdot 1,62 \cdot 3,043 = 6,971 \text{ кА}$$

Висновки

1. В даному розділі було зроблено опис електричної схеми підстанції «Тилігул» 330/35 кВ та параметрів основного обладнання
2. Було зроблено спрощену схему заміщення й проведено розрахунок для її основних значень струмів КЗ.

2 ВИБІР РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДСТАНЦІЇ

2.1 Вимоги до релейного захисту

Для вибору релейного обладнання необхідно враховувати:

- функціональну можливість –пристрої РЗ необхідні мати перелік необхідних функцій, які відносяться до вимог ПУЕ та режиму роботи устаткування , яке захищається;
- експлуатаційну характеристику – пристрої РЗ мають бути зручними та простими в роботі, надавати персоналу який працює важливу інформацію для ефективної роботи;
- надійніну роботу при нормальних та аварійних режимах роботи;
- актуальність елементної й технічного рішення;
- можливість проектування системи яка буде автоматизованою,бору інформацій та управлінням з верхнього рівня, користуючись релейним обладнанням як нижнім рівнем;
- однотипність обладнання. [3]

Система має працювати в без перерв, цілодобово, на протязі усього всиановленого строку служби, який має бути більше за 20 років. При цьому на протязі всього визначеного терміну придатності усі зазначені пристрої соють задовольняти правилам, які виставляються для відновлюваних систем.

Надійність системи РЗА має забезпечуватись:

- вибором технічного засобу, який має відповідати показникам надійності, та резервування;
- структурними способами
- необхідним порядком використання технічного засобу. Кількісні показники надійності мають відповідати:
- срок на відмову будь-якого каналу по функціям РЗА не менше за 120000 годин;
- середній час на відновлення роботи РЗА для кожних з функцій має бути не більше за 0,5 години.

- система має правильно роботати при змінах оперативної напруги в рамках +10% та -20% від звичайної.

Пошкодження будь-якого терміналу РЗ або управління не має привести до виводу з праці не пошкоджених елементів мережі, а ще до виводу з ладу і несправних дій не ушкодженого терміналу.

Щоб забезпечити захист від електромагнітних впливів, які використані в проекті МПРЗА, використовується екранований контрольний кабель з заземленням екрану із сторін входних кіл терміналів, тавсі МП пристрої розміщуються в шафах з дво стороннім використанням, наружні двері яких виконуються із скляним вікном. [4]

2.1.1 Вимоги до релейного захисту ліній 330 кВ

Для ліній 330 кВ необхідно передбачити захисти від:

- міжфазних КЗ (дво- і трьохфазних);
- однофазних КЗ на землю (мережа з глухозаземленою нейтраллю);
- перевантаження.

2.1.1.1 Вибір основного захисту

При виборі основного релейного захисту для лінії 330 кВ згідно ПУЕ має бути передбачено захист, який діє без уповільнення при КЗ в будь-якій точці ділянки, що захищається. [11]

Ця вимога розглядається більш детально В СОУ НЕК 20.261:2019:" **6.8.3.3** У разі використання на ПЛ оптоволоконного кабелю, основний захист необхідно виконувати на базі мікропроцесорного пристрою диференційного струмового захисту з функціями дистанційного захисту від усіх видів КЗ, а також наявності окремих вибіркового органів пошкодженої фази на дистанційному принципі (для ПЛ з ОАПВ). Оптичні волокна, що використовуються для потреб РЗА, мають бути підключені безпосередньо до пристрою, оминаючи апаратуру зв'язку. ".

При розгляді конкретних ліній (Аджалик – Трихати), можна побачити, що вони не обладнані оптоволоконним зв'язком та побудова такого каналу не передбачена за технічним завданням. При відсутності оптичного каналу

використовуємо другу вимогу СОУ НЕК 20.261:2019: " **6.8.3.2 Основний захист** – на базі мікропроцесорного пристрою **диференційно-фазного** захисту з абсолютною селективністю, з використанням компенсації ємнісного струму в органі маніпуляції та пускових органах захисту (за необхідності, підтвердженої розрахунками), а також наявності окремих вибіркового органів пошкодженої фази на дистанційному принципі (для ПЛ з ОАПВ). У складі основного захисту необхідно передбачати функції дистанційних та струмових захистів. ".

Згідно СОУ НЕК 20.261:2019 для лінії 330 кВ " **6.8.3.1** Для забезпечення дальнього резервування на ПЛ 220 – 330 кВ необхідно передбачати наявність основного та резервного захистів ".

2.1.1.2. Вибір резервного захисту

Згідно СОУ НЕК 20.261:2019 п. **6.8.3.4** Резервний захист – на базі мікропроцесорного пристрою **дистанційного** захисту від усіх видів КЗ; струмового захисту від КЗ на землю з телеприскоренням та телевідключенням, струмового захисту від міжфазних КЗ. У разі наявності ОАПВ на ПЛ необхідно передбачати окремі вибіркового органи пошкодженої фази на дистанційному принципі.

Згідно **6.8.3.5 Резервний захист повинен мати:**

- блокування дистанційного захисту при асинхронному режимі, синхронних хитаннях та при несправності кіл змінної напруги;
- аварійні максимальні струмові захисти;
- захист від неповнофазного режиму;
- визначник пошкодженої фази (для ПЛ з ОАПВ);
- функцію визначення місця пошкодження;
- незалежне регулювання уставок вимірювальних органів і їх витримок часу;
- незалежну зміну напрямку кожного ступеня;
- кола автоматичного та оперативного прискорення з можливістю вибору ступенів;
- прискорення при включенні лінії на КЗ;

- наявність не менше чотирьох наборів уставок;
- функцію ПРВВ двох вимикачів.

2.1.1.3 Керування комутаційним обладнанням.

Згідно СОУ НЕК 20.261:2019 **6.8.3.7** Для керування вимикачем необхідно передбачати мікропроцесорний пристрій автоматики керування вимикачем з функціями ПРВВ, АПВ, фіксації положення вимикача, контролю тиску газу, захисту від неперемикання фаз, сигналізації справності вимикача. Термінал має діяти на відключення через основний та резервний соленоїди відключення. Необхідно передбачати можливість аварійного ручного керування вимикачем за допомогою ключів на панелі у разі несправності АСКТП.

2.1.2 Вимоги до релейного захисту трансформаторів

Згідно ПУЕ існують такі вимоги до захисту двохобмоточних трансформаторів:

- Захист від внутрішніх ушкоджень трансформатора менш 4МВА-максимальний захист та струмова відсічка, для трансформаторів які мають більшу потужність диференційний захист.
- Захист від зовнішніх коротких замикань - максимальний захист з блокуванням по напрузі або без неї. Також використовується як резервний захист.
- Захист від однофазних коротких замикань на стороні трансформатора з глухозаземленою нейтраллю.
- Газовий захист трансформатора та пристрою РПН з дією на сигнал та відключення.
- Захист від перевантаження з дією на сигнал. У ряді випадків, на ПС без обслуговуючого персоналу, захист від перевантаження виконується з дією на розвантаження або на відключення.

Згідно СОУ НЕК 20.261:2019 **6.8.8.2** Для захисту Т 330(220)/150(110) кВ потрібно передбачати:

- два взаємодубльовані мікропроцесорні пристрої з функціями диференційного захисту АТ та струмового захисту, направленими в сторону ВН, захисту від перевантаження,
- панель технологічних захистів;
- окремий пристрій керування РПН;
- у випадку, якщо АТ підключено до системи шин без використання вимикачів, то функції диференційного захисту шин та диференційного захисту ошиновування поєднуються;
- захист від зниження рівня оливи в баку РПН повинен діяти на відключення АТ за умови спрацювання сигнального та основного контактів.

2.1.3 Вимоги до релейного захисту ліній 35 кВ

При виборі релейного захисту для ліній 35кВ згідно ПУЕ існують такі вимоги:

- Двоступеневий струмовий захист, встановлений в двох фазах. Другий ступінь з незалежної характеристикою, так як залежна характеристика неефективна.
- Захист від замикань на землю підключається до кабельного трансформатору струму, і виконується в компенсованих мережах у напрямку активної потужності нульової послідовності або на вищих гармоніках і діє на сигнал.

У разі невиконання вимог за чутливістю струмового захисту є доцільним застосування комбінованих струмових захистів з пуском за мінімальною напругою, з пуском за зворотними складовими напруги або струми. На лініях з двостороннім живленням, а також для ліній, які є частиною кільцевих мереж з одним джерелом живлення, варто застосовувати захисти аналогічні для ліній з одним джерелом живлення. Для паралельних ліній з однобічним живленням, підключених до одного загального вимикача можна використовувати захисти аналогічні одиночним лініям.

2.1.4 Вимоги до релейного захисту шин 330 кВ

Згідно СОУ НЕК 20.261:2019 "6.8.6.1 Для захисту шин 330 – 500 кВ потрібно використовувати мікропроцесорний пристрій диференційного

захисту на кожен систему шин із гальмуванням та введенням чутливого органу при опробуванні, у трифазному виконанні з числом приєднань не менше чотирьох."

2.2 Вибір релейного захисту ПС

Згідно технічного завдання та СОУ НЕК 20.261:2019 та СОУ НЕК 35.101:2018 всі пристрої релейного захисту повинні задовольняти наступні вимоги: [12]

- 6.8.1.2 Пристрої РЗ та ПА повинні бути виконані на мікропроцесорній базі.
- 6.8.1.3 На ПС мікропроцесорні пристрої необхідно використовувати із забезпеченням максимальної однотипності.
- 6.8.1.6 Для забезпечення ведення часу в системі термінали РЗА повинні підтримувати протокол РТР v2.
- 6.8.1.7 Для інтеграції до АСК ТП підстанції термінали повинні мати не менше двох оптичних портів IEC61850, а також окремий порт для налагодження та діагностики терміналів.
- 6.8.1.16.7 Пристрої РЗА повинні підтримувати підключення до дубльованої оптичної шини за допомогою протоколів PRP/HSR.

Відступ від наведених вимог не допускається.

Для даної підстанції обираються пристрої виробництва Siemens. [5] Цифрові багатофункціональні пристрої захисту та управління приєднанням серії SIPROTEC 5 обладнані потужним мікропроцесором. В результаті, всі завдання, починаючи від виконання вимірювань і до видачі команд управління на вимикач, виконуються цифровим способом.

Сигнали від вимірювальних трансформаторів, що надходять на вимірювальні входи у вигляді струмів і напруг, перетворюються і наводяться до рівня, на якому здійснюється їх обробка в пристрої. Пристрої SIPROTEC 5 включають в себе трансформатори струму і, в залежності від типу пристрою, трансформатори напруги. Струмові входи призначені для вимірювання фазних струмів і струму витоку на землю. Вимірювання струму витоку на землю може виконуватися з високою чутливістю за допомогою

трансформатора струму нульової послідовності. Також передбачена можливість вимірювання фазних струмів з високою чутливістю, необхідна для особливо точних вимірювань. Входи напруги призначені для отримання сигналу вимірювального напруги для тих функцій пристрою, в яких потрібні виміряні значення струму і напруги. Для подальшої обробки аналогові величини оцифровуються внутрішнім мікропроцесором.

Всі функції пристрою обробляються мікропроцесорною системою.

Обробка включає наступні операції:

- Фільтрація і підготовка вимірюваних величин до обробки.
- Постійний контроль вимірюваних величин.
- Контроль умов спрацювання для кожної функції захисту.
- Опитування порогових величин і узгодження витримок часу.
- Обробка сигналів для функцій логічного управління.
- Прийняття рішень про видачу команд на відключення і включення.
- Зберігання повідомлень, даних ушкоджень і величин при пошкодженнях для подальшого аналізу.
- Управління операційною системою і пов'язаними функціями, такими як зберігання даних, годинник реального часу, обмін даними, інтерфейси, тощо
- Обмін даними з зовнішніми пристроями.

2.2.1 Релейний захист ліній 330кВ

Згідно п. 2.1.1.1 в якості основного пристрою захисту обирається пристрій, який виконує функції диференційно-фазного захисту. Існують 3 мікропроцесорні пристрої, що виконують дану функцію:

- «Діамант L040» фірми «Хартрон-Інкор», м. Харків, Україна.
- MiCOM P547 виробництва Alstom (Франція).
- L-60 виробництва General Electric (Канада).

MiCOM P547 не має пускових дистанційних органів (відповідно до вимог п. 2.1.1.1), тому даний пристрій використати не можемо.

Діамант L040 не підтримує синхронізацію часу за протоколом РТР v2 та не підтримує підключення до дубльованої оптичної шини за допомогою протоколів PRP/HSR, тому даний пристрій також використати не можемо.

У якості основного захисту для ліній 330 кВ використовуємо на базі мікропроцесорного пристрою диференційно-фазного високочастотного захисту лінії типу «L60» фірми «General Electric», який виконує наступні функції:

- високочастотної ДФЗ, для чого, встановлюються два напівкомплекти захисту по обидві сторони ПЛ, які синхронізуються між собою. Інформація про фазовий кут струму передається з одного кінця захищаємої лінії на другий по високочастотному каналу типовим високочастотним прийомо-передавачем типу ОРІОН-УПЗ;
- двохступеневого захисту від міжфазних КЗ та двохступеневого ДЗ від КЗ на землю з можливістю блокування при хитаннях потужності в мережі та несправності кіл напруги;
- трьохступеневого струмового захисту нульової послідовності від однофазних КЗ на землю. Передбачена можливість роботи кожної ступені «на вимкнення» або «на сигнал»;
- максимального струмового захисту від всіх видів міжфазних КЗ, який може вводиться в роботу тільки при блокуванні ДЗ в випадку несправності кіл напруги (задається уставкою);
- виявлення місця пошкодження;
- блокування ДФЗ при несправності ВЧ-каналу;
- функцію захисту від неповнофазного режиму;
- максимальний струмовий захист від КЗ на «землю» (аварійний максимальний струмовий захист), який може вводиться в роботу тільки при блокуванні ДЗ у випадку несправності кіл напруги.

Згідно п. 2.1.1.2 В якості резервного захисту на даних лініях обираємо використання багатофункціонального мікропроцесорного пристрою типу 7SA86 фірми «SIEMENS», який реалізує наступні основні функції:

- дистанційний захист від усіх видів КЗ з можливістю блокування при хитаннях потужності в мережі та несправності кіл напруги, який включає в себе п'ять незалежних ступенів та одну керовану. Для всіх ступенів можна задати спрямованість «вперед», «назад» або «без напрямку». Для дистанційних вимірювань є шість незалежних контурів: фаза-фаза – для між фазних замикань та фаза-земля – для замикань на землю;
- чотирьохступеневий спрямований струмовий захист від КЗ на землю. Для кожної ступені параметри спрацювання можуть задаватися окремо одна від одної, будь-яка ступінь може бути як спрямованою, так і без напрямку. В якості вимірюваної величини використовується струм нульової послідовності, який розраховується з геометричної суми фазних струмів, які заводяться на аналогові входи м/п термінала;
- ступеневий максимальний струмовий захист. Використовується як аварійний захист при несправності кіл напруги (для запобігання неправильного спрацювання ДЗ блокується) або в якості резервного струмового захисту незалежно від стану кіл напруги;
- незалежний фазовий селектор для виявлення пошкодженої фази.
- виявлення місця пошкодження. Дана функція здійснює розрахунок відстані до місця пошкодження з використанням зареєстрованих миттєвих значень вимірюваних величин;
- пристрій резервування відмови вимикачів (ПРВВ);
- реєстрація та зберігання інформації про 8 останніх пошкоджень і 600 повідомлень на захищуваному об'єкті з відображенням реального часу та автоматичним оновленням інформації, а також реєстрацію поточних електричних параметрів;
- функцію захисту від неповнофазного режиму;
- кола автоматичного та оперативного прискорення з можливістю вибору ступеня;
- прискорення при включення лінії на КЗ;

- непереривний оперативний контроль працездатності (самодіагностика) на протязі всього часу роботи та блокування всіх функцій при несправності пристрою для запобігання неправильних спрацювань;
- контроль напруги;
- світлодіодна індикація несправності по результатам оперативного контролю працездатності термінала;
- конфігурування світлодіодної індикації по результатам виконання функцій захисту, автоматики та наявності вхідних і вихідних сигналів.

Види уведених захистів, кількість їх ступенів та направленість визначаються заданими уставками.

Згідно п. 2.1.1.3 автоматика вимикача 330 кВ виконується на базі мікропроцесорного пристрою типу 6MD86 фірми «Siemens», який реалізує наступні функції:

- автоматичне повторне увімкнення (АПВ);
- пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ);
- максимальний струмовий захист; дві ступені мають незалежну витримку часу вимкнення, а одна – зворотно залежну; для кожної ступені параметри спрацювання можуть задаватися окремо одна від одної, будь-яка ступінь може бути як спрямованою, так і без напрямку.
- максимальний струмовий захист від КЗ на землю; дві ступені мають незалежну витримку часу вимкнення, а одна – зворотно залежну; для кожної ступені параметри спрацювання можуть задаватися окремо одна від одної, будь-яка ступінь може бути як спрямованою, так і без напрямку. В якості вимірюваної величини використовується струм нульової послідовності, який розраховується з геометричної суми фазних струмів, які заводяться на аналогові входи м/п термінала;
- реєстрація та зберігання інформації з відображенням реального часу та автоматичним оновленням інформації, а також реєстрацію поточних електричних параметрів;

- неперервний оперативний контроль працездатності (самодіагностика) на протязі всього часу роботи та блокування всіх функцій при несправності пристрою для запобігання неправильних спрацювань;
- контроль напруги;
- світлодіодна індикація несправності по результатам оперативного контролю працездатності термінала;
- конфігурування світлодіодної індикації по результатам виконання функцій захисту, автоматики та наявності вхідних і вихідних сигналів.

Види уведених захистів, кількість їх ступенів та направленість визначаються заданими уставками.

Для виводу різних видів захистів передбачаються ключі вибору режимів роботи. При роботі захистів, несправності термінала, каналів зв'язку, відсутності оперативного струму забезпечується дія в схему центральної сигналізації, а також в схему реєстратора. [6]

2.2.2 Релейний захист трансформаторів

Згідно пункту 2.1.2 в якості захисту трансформатора передбачається використання двох взаємно дублюючих комплектів захисту, які включають як основний так і резервний захист. 1 та 2 комплекти виконуються на базі багатофункціонального мікропроцесорного пристрою типу 7UT86 фірми «Siemens» з основною функцією диференційного захисту з гальмуванням (ДЗТ). [7]

Також, можуть бути використані наступні функції:

- обмежений захист від замикань на землю в трансформаторі. Для функціонування захисту в заземлену нейтраль трансформатора встановлюється ТС для контролю струму. Зона захисту обмежується даним трансформатором струму і тими, які встановлені в фазах обмотки трансформатора;
- дистанційний захист трансформатора (5 ступенів) для забезпечення дальнього резервування направлені в бік ВН;

- диференційний захист ошиновки 35 кВ (ДЗО) та захист реактора;
- максимальний струмовий захист 330 кВ з витримкою часу. Використовується в якості резервного захисту від КЗ та забезпечує відключення зовнішніх пошкоджень;
- максимальний струмовий захист 35 кВ;
- захист від термічного перевантаження, який включає в себе дві ступені: перша діє на сигнал, друга – на відключення трансформатора від мережі;
- реєстрація та зберігання інформації про 8 останніх пошкоджень і 600 повідомлень на захищуваному об'єкті з відображенням реального часу та автоматичним оновленням інформації, а також реєстрацію поточних електричних параметрів;
- непереривний оперативний контроль працездатності (самодіагностика) на протязі всього часу роботи та блокування всіх функцій при несправності пристрою для запобігання неправильних спрацювань;
- світлодіодна індикація несправності по результатам оперативного контролю працездатності термінала;
- конфігурування світлодіодної індикації по результатам виконання функцій захисту, автоматики та наявності вхідних і вихідних сигналів.

Види уведених захистів, кількість їх ступенів та направленість визначаються заданими уставками.

Автоматичне регулювання напруги трансформатору виконується на базі мікропроцесорного термінала «Тарсон». Пристрій забезпечує:

- автоматичне підтримання напруги в заданих межах;
- корекцію рівня регулюючої напруги в залежності від струму навантаження;
- одночасний контроль двох систем шин;
- блокування роботи та сигналізацію при виявленні несправності електроприводу РПН;
- блокування регулювання зовнішніми сигналами релейного захисту;
- блокування регулювання при перевантаженнях, перевищенні $3U_0$ чи при пониженій вимірюваній напрузі;

- вимірювання поточної ступені перемикання РПН.

Пристрій проводить вимір наступних аналогових сигналів:

- лінійну напругу регулюючої секції;
- лінійну напругу контролюючої секції;
- напругу нульової послідовності регулюючої та контролюючої секцій;
- одного з фазних струмів вводу регулюючої та контролюючої секції шин;
- одного з фазних струмів секційного вимикача регулюючої та контролюючої секцій шин.

Живлення терміналу здійснюється змінним оперативним струмом. Для реалізації блокування регулювання напруги при вимкненому навантаженні на дискретний вхід пристрою заводиться сигнали положення вимикача вводу 35 кВ Т1(2).

Зовнішнє блокування роботи терміналу здійснюється по перевищенню номінального струму обмотки ВН трансформатора та температурі оливи пристрою РПН.

2.2.3 Релейний захист мережі 35 кВ

Згідно пункту 2.1.3 захист та автоматика вводів 35 кВ виконується в ЗПК. В комірках вводу та ліній організовуються схеми ЛЗШ, ПРВВ, дуговий захист, схема блокування викатного елементу та кола двигуна заводки пружини.

Захист та автоматика відгалужувальних ліній 35 кВ виконується в комірках в КРПЗ на базі мікропроцесорних терміналів захисту 7SJ82. Вони виконують функції:

- максимального струмового захисту (МСЗ), направлений та ненаправлений;
- струмової відсічки (СВ);
- захисти від підвищення та зниження напруги (ЗПН, ЗМН);
- захисти від підвищення та зниження частоти (ЗПЧ, ЗМЧ);
- АЧР/ЧАПВ;
- реєстрації аварійних подій.

2.2.4 Релейний захист шин 330 кВ

Згідно пункту 2.1.4 в якості захисного обладнання шини 330 кВ передбачаються експлуатація двох взаємнодублюючих комплектів захисту на першій та другій секції шин 330 кВ. Обидва комплекти виготовляються на базі МП типу 7SS85 фірми «Siemens», за допомогою якого стають можливі наступні функції:

- диференційний захист, який є основним захистом при всіх видів КЗ;
- не залежний фазний селектор який потрібен для виявлення ушкоджень на фазах;
- зберігання інформації про останні ушкодження і повідомлень на об'єкті, що захищається, з показуванням теперішнього часу та оновленням інформації, та реєстрацію електричних параметрів, які відбуваються зараз;
- не переривне оперативне контролювання працездатності протягом усієї роботи та блокування усіх параметрів при поломці обладнання за для уникнення не правильних спрацьовувань;
- світлодіодна індикація невірних спрацьовувань за результатами цілодобового контролю роботи здатності терміналу;
- складання світлодіодної індикації за результатам виконаних параметрів захиста та отримання сигналів.

Схема виконується з урахуванням застосування окремої схеми пристрою резервування відказу вимикача (ПРВВ), виконаної на 6MD86 та 7SA86.

Струмові кола деяких окремих елементів захисту шини складаються на МП реле захисту, та які встановлюються у приміщеннях ЗПК.

Висновки

У розділі було розглянуто вимоги до релейного захисту на лінії 330кВ (основного захисту, резервного захисту та комутаційного обладнання), трансформаторів, ліній 35кВ та шин 330кВ.

Було обрано пристрої релейного захисту із забезпеченням максимальної однотипності та задовольнянням усіх вимог СОУ НЕК 20.261:2019.

3 ФУНКЦІЇ ПРИСТРОЮ РЗА 7UT86 ТА РОЗРАХУНОК УСТАВОК

3.1 Функції пристрою РЗА 7UT86

3.1.1. Призначення та загальні функції

Диференціальний захист трансформатора SIPROTEC 7UT86 - це універсальний пристрій захисту, управління та автоматики на базі системи SIPROTEC 5. Він спеціально розроблений для захисту дво- і триобмоточних трансформаторів. Це головний захист трансформатора і містить багато інших функцій захисту та контролю. Крім того, функції захисту також можуть бути використані як резервний захист для наступних об'єктів захисту (наприклад, кабелю, лінії). На цьому він підтримує також модульну доступність обладнання. Пристрій підтримує всі характеристики системи SIPROTEC 5. Це дозволяє виконувати орієнтовані на майбутнє системні рішення з високим рівнем безпеки інвестицій та низькими експлуатаційними витратами. [8]

Усі функції можна вільно налаштувати за допомогою DIGSI 5. Для застосування деяких функцій потрібна відповідна кількість вільних функціональних точок у пристрої. Калькулятор функціональних точок в онлайн-конфігураторі надає підтримку у визначенні необхідної кількості функціональних точок для пристрою.

Функції захисту пристрою наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Функції захисту пристрою

Код ANSI	Позначення (англ.)	Позначення (укр.)
21/21N	Distance	Дистанційний захист фазний/ від замикань на землю
24	Volts per hertz relay	Захист від перезбудження (контроль насичення)
25	Synchronizing or synchronism-check device	Контроль синхронізму

Продовження таблиці 3.1

27	Undervoltage relay	ЗМН (захист мінімальної напруги) 3-фазна, прямої послідовності
32	Directional Power Relay	Спрямований захист по потужності
37	Undercurrent or Underpower Relay	Мінімальний струмовий захист у фазах
46	Current Unbalance	МСЗ ОП
47	Phase-Sequence or Phase Balance Voltage Relay	Захист максимальної напруги ОП
49	Machine or Transformer Thermal Relay / Thermal Overload	Тепловий захист
50BF	Breaker Failure	ПРВВ
50/51	Instantaneous / Time-delay Overcurrent relay	Трифазний МСЗ
50Ns/51Ns	Sensitive earth-fault protection	МСЗ по струму НП
59	Overvoltage Relay	Захист максимальної напруги
59N	Neutral Overvoltage	Захист максимальної напруги НП
67	AC Directional Overcurrent Relay	Спрямований МСЗ

Продовження таблиці 3.1

67G	Ground Directional Overcurrent	Спрямований МСЗ від ЗНЗ, вимірюваний ТСНП
67N	Neutral Directional Overcurrent	Спрямований МСЗ від ЗНЗ, що обчислюється ЗТС
67Ns	Earth fault directional	Спрямований МСЗНП
68	Blocking Relay / Power Swing Blocking	Контроль кидків струму
79	AC Reclosing Relay / Auto Reclose	АПВ
81	Frequency Relay	Захист по частоті
81O	Over Frequency	Захист максимальної частоти
81R	Rate-of-Change Frequency	Захист по швидкості зміни частоти (df/dt)
81U	Under Frequency	Захист мінімальної частоти
87N	-	Диференціальний захист, високоімпедансний від замикання на землю
87M	Motor Differential	Диференціальний захист двигуна
87T	Transformer Differential	Диференціальний захист трансформатора
90	Regulating Device	Регулятор РПН

Окрім вищевказаних пристрій виконує функції:

- диференціального захисту ошиновки;
- дуговий захист;
- адаптивне регулювання характеристики спрацьовування;
- підвищена чутливість у випадку замикань на землю, близьких до нейтралі за допомогою окремого диференціального захисту від замикання на землю.

Особливості пристрою:

- до 4 модулів зв'язку, що використовуються для різних та резервних протоколів (IEC 61850, IEC 60870-5-103, IEC 60870-5-104, DNP3 (послідовний + TCP), Modbus TCP);
- протоколи резервування Ethernet PRP та HSR;
- пібербезпека відповідно до технічного довідника NERC CIP та BDEW;
- потужна автоматизація з CFC (діаграма безперервних функцій);
- безпечний послідовний захист даних, передача даних також на великі відстані та на всі доступні фізичні носії (волоконно-оптичні, двопровідні підключення та комунікаційні мережі);
- вимірювання робочих змінних струмів;
- блок вимірювання фазора (PMU) для вимірюваних синхрофазором значень та протокол IEEE C37.118 для реєстрації;
- реєстрація аварійних процесів.

3.1.2. Диференційний захист

Диференціальний захист трансформатора:

- Забезпечує захист від багатофазних пошкоджень і замикань на землю трансформаторів, реакторів, коротких лінійних електропередач, генераторів та електродвигунів.
- Забезпечує захист блоків генератор-трансформатор, трансформатор-реактор, трансформатор-реактор у нейтралі.
- Має можливість відстройки від кидків струму намагнічування та режимів перенасичення.

- Відстроєний від зовнішніх пошкоджень, що забезпечують ненасиченість трансформаторів струму, завдяки використанню спеціальних алгоритмів виявлення насичення трансформаторів струму.
- Надійно спрацьовує при внутрішніх пошкодженнях, забезпечуючи більші струмами, завдяки наявності додаткового швидкодіючого ступеня (диференціальної відсічки).

Пристрої 7UT86 можуть працювати з трьома (двома) сторонами захищеного об'єкта або з 3-ма точками. У разі застосування на автотрансформаторі, дві функції диференціального захисту можуть паралельно працювати у функціональній групі автотрансформаторів.

Принцип роботи диференційного захисту заснований на порівнянні струмів (які стосуються конкретного вузлу відповідно до закону Кірхгофа і з урахуванням коефіцієнта трансформації трансформатора). Тобто використовується той факт, що в нормальному режимі роботи по обидва боки об'єкта протікає однаковий струм

Цей струм втікає з одного боку розглянутої зони і витікає з іншого боку. Різниця струмів є чітким показником наявності пошкодження в межах об'єкта, що захищається. Різниця струмів обчислюється шляхом визначення їх напрямків. Напрямок струму в сторону такого об'єкта приймається за позитивний. Різниця струмів (диференційний струм) обчислюється шляхом їх векторного додавання. Принцип дії диференційного захисту зображено на рис. 3.1



Рисунок 3.1 – Принцип дії диференційного захисту

Перетік значних наскрізних струмів через об'єкт, що захищається, в разі зовнішнього пошкодження при різному ступені насичення ТС викликає появу диференціального струму. Якщо значення даного струму перевищить значення відповідної уставки спрацьовування, то, незважаючи на відсутність внутрішнього пошкодження, захист видасть команду на відключення.

Як гальмівний струму вибирається найбільший струм з двох або більше точок вимірювання.

При зовнішньому пошкодженні, що супроводжується протіканням великих наскрізних струмів, можливо насичення ТС. Насичення ТС може в більшій чи меншій мірі впливати на вимірювання струму в точках вимірювання, що призводить до виникнення диференціального струму. Точка, відповідна даному диференціальному струму, може тимчасово потрапляти в область спрацьовування робочої характеристики захисту, що в свою чергу (за відсутності спеціальних заходів), може привести до зайвого відключення об'єкта. Існує 2 типових варіанти розвитку подій, які зображено на рис. 3.2:

- Зовнішнє пошкодження, що супроводжується великим струмом КЗ. Спочатку струм, що протікає з двох сторін об'єкту, що захищається, призводить до появи великого гальмівного струму. Потім ТС входить в режим насичення, що призводить до появи диференціального струму, достатнього для потрапляння в область спрацьовування робочої характеристики захисту. Одночасно з цим зменшується гальмівний струм. Після того як ТС виходять з режиму насичення диференційний струм знижується і виходить з області спрацювання робочої характеристики.

- Зовнішнє пошкодження, що супроводжується малим струмом КЗ. ТС можуть входити в режим насичення також і при протіканні малих наскрізних струмів з тривало загасаючою аперіодичною складовою (включення трансформаторів, двигунів). Даний режим характеризується зміною фазового кута струму. В такому випадку також можлива поява диференціального струму, достатнього для потрапляння в область спрацьовування робочої характеристики захисту.

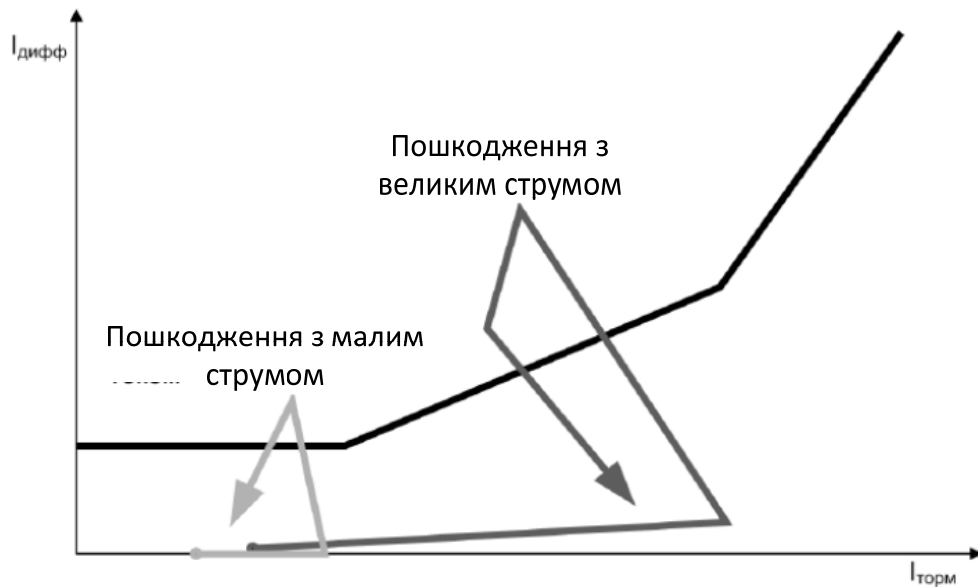


Рисунок 3.2. – Траєкторія руху робочої точки при зовнішньому пошкодженні і тимчасовому насиченні ТТ з однієї зі сторін об'єкта.

При включенні трансформатора під напругу спостерігається кидок струму намагнічування, що містить значну аперіодичну складову. Кидок струму формується на всіх провідниках і негайно призводить до виникнення диференціального струму. Для потужних трансформаторів загасання аперіодичної складової може тривати до декількох секунд. [10]

Робота трансформатора на підвищеній напрузі може привести до того, що трансформатор увійде в режим роботи на нелінійній частині характеристики намагнічування. Це призводить до збільшення струму намагнічування і до появи підвищеного диференціального струму, що може стати причиною помилкового спрацьовування захисту.

Тому для блокування роботи диференційного захисту при включенні трансформатора під напругу і його збудженні використовуються спеціальні функції, які можна побачити на рис. 3.3.

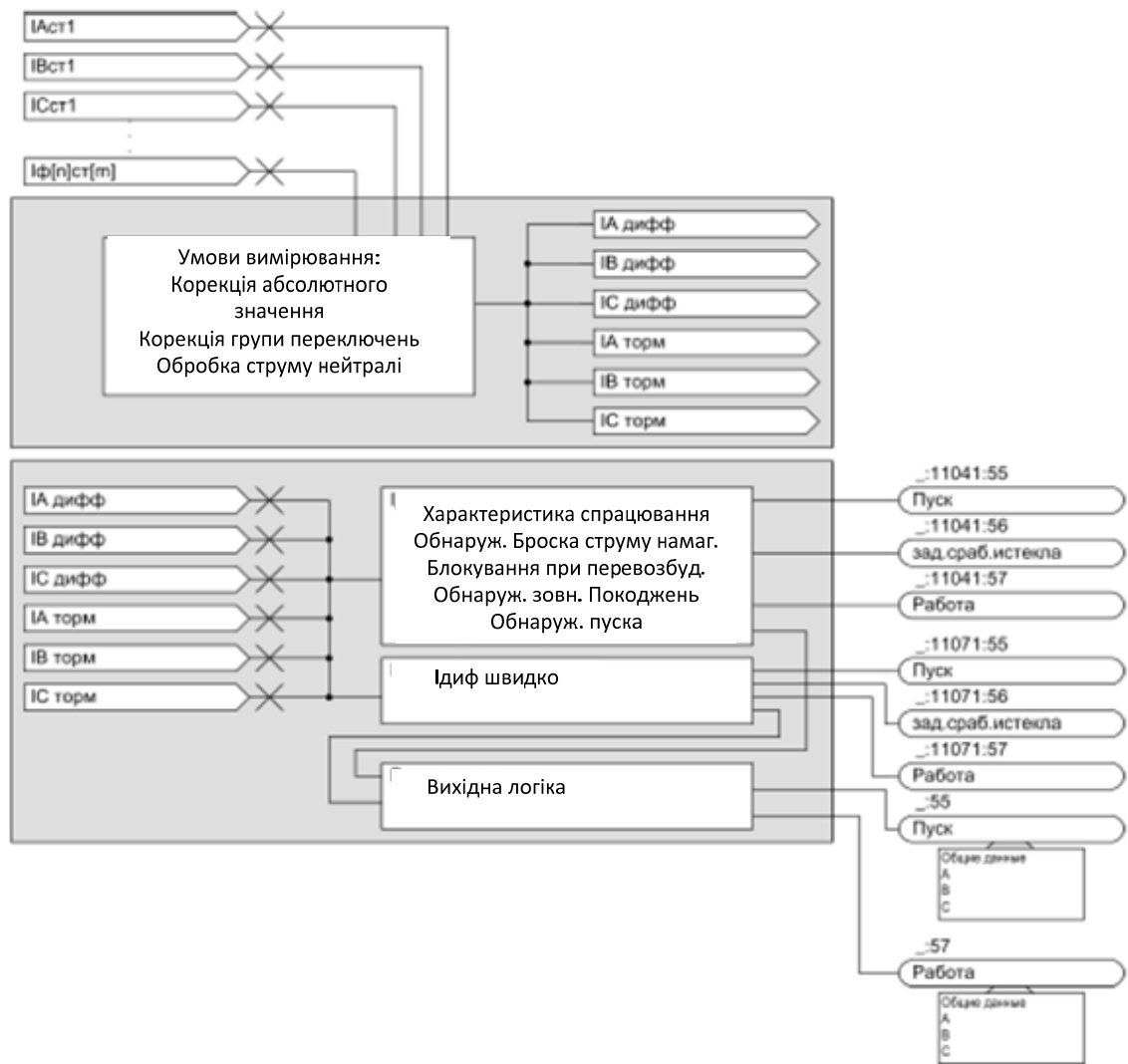


Рисунок 3.3 – Логічна схема диференційного захисту трансформатора

Амплітудна корекція виміряних величин

Так як первинний номінальний струм ТС не завжди вдається підібрати точно відповідно до номінального струму захищеного об'єкту, функцією диференційного захисту виконується приведення виміряних величин до номінальних параметрів цього об'єкту. Дане перетворення здійснюється на кожному інтервалі дискретизації (т. Е. для миттєвих значень). Функція диференціального захисту обробляє 20 вибірок виміряних значень за період. Використовуються серії дискретизованих значень. Висока точність вимірювань досягається у всьому діапазоні відстеження від 10 до 80 Гц.

Корекція перемикавання відпайки

При наявності перемикаються відпайок, розташованих на стороні трансформатора, струми боку також приводяться до поточної позиції перемикається відпайки.

Корекція групи з'єднання

Невідповідності в групах з'єднання виникають через відмінності електромагнітного зв'язку обмоток з сердечником, а також із-за використання різних схем з'єднання обмоток (Y, D, Z). Тому виміряні струми не можуть бути використані диференціальним захистом для безпосереднього підсумовування. Корекція групи з'єднання обмоток враховує магнітний зв'язок обмоток трансформатора і дозволяє порівнювати виміряні струми. Корекція діє таким чином, що кожна сторона перетворюється в групу з'єднання 0.

Характеристика пуску

На рис. 3.4 приведена пускова характеристика диференціального захисту пристрою 7UT86. Відрізок а характеристики є порогом чутливості диференціального захисту (Уставка Граничне значення) і враховує наявність постійного струму небалансу (диференціального струму), що з'являється, наприклад, через струми намагнічування.

Ділянка характеристики b (параметри Пересіч.1 Іторм і Нахил 1) враховує похибки ТС, що виникають в нормальному режимі роботи. Дані похибки можуть бути викликані:

- Похибкою ТС і вхідних трансформаторів пристрою.
- Корекцією відхилень і перемикачів відпайок в трансформаторах з регулюванням напруги (але тільки в разі, якщо положення перемикача відпайки не береться до уваги диференціальним захистом).

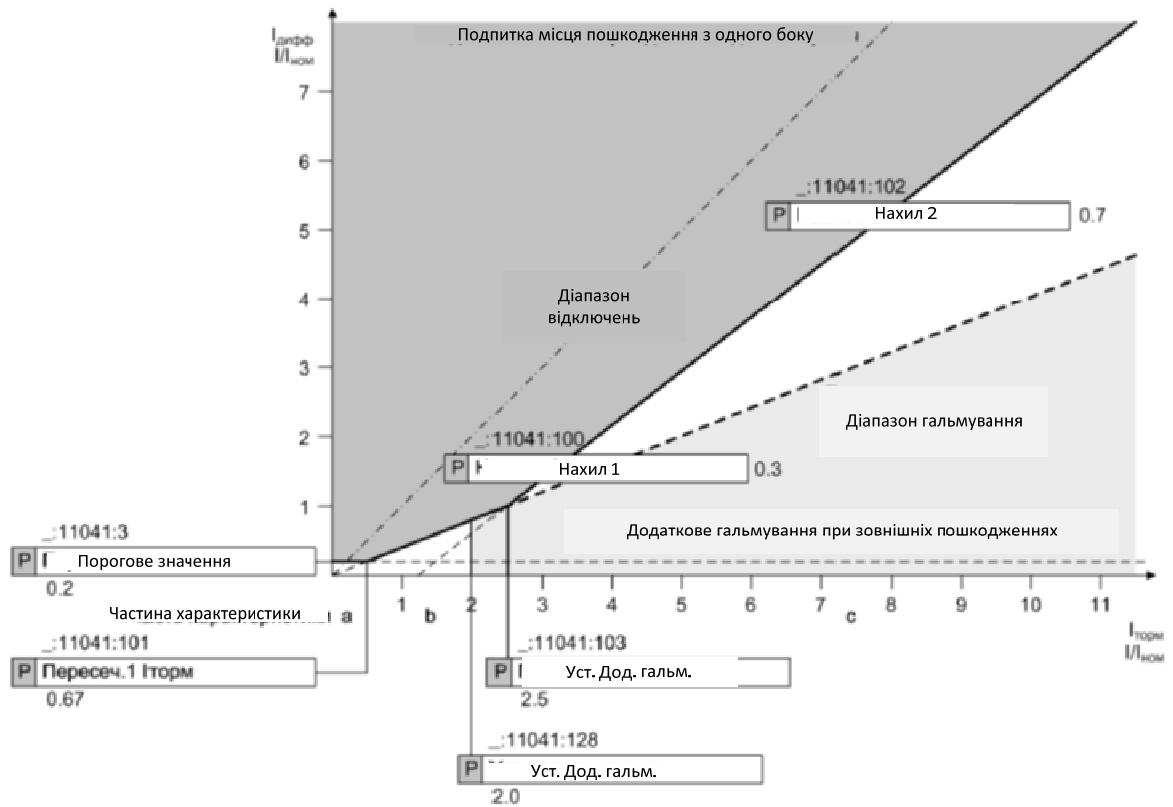


Рисунок 3.4 – Пускова характеристика диференціальної захисту.

Ділянка характеристики с (параметром Пересіч.2 Іторм і Нахил 2) забезпечує відбудову диференційного захисту від зовнішніх КЗ, що супроводжуються великими струмами, які викликають насичення ТС. У цій частині характеристики можливо насичення ТС, викликане протіканням великих наскрізних струмів при зовнішньому пошкодженні, що може привести до появи великої диференціального струму. Для запобігання роботі захисту при зовнішніх пошкодженнях, що супроводжуються насиченням ТС (Рис. 3.2), застосовується характеристика додаткового гальмування при зовнішніх пошкодженнях. Якщо робоча точка спочатку розташовується в зоні додаткового гальмування, а потім перетинає пускову характеристику, то дана логіка активується і блокує диференціальний захист.

Зона додаткового гальмування налаштовується за допомогою параметрів Уставка додаткового гальмування і Нахил 1.

Виявлення кидка струму намагнічування.

Функція виявлення кидка струму намагнічування аналізує обчислені миттєві значення диференціального струму. Кидок струму намагнічування, викликаний включенням паралельного трансформатора (наведений струм намагнічування) або відновленням напруги після ліквідації пошкодження в мережі (струм намагнічування відновлення), призводить до появи диференціального струму, що значно перевищує струми сторін об'єкта, що захищається. Прив'язка до відповідних блокувань фаз можлива тільки для диференційних струмів, викликаних коригуванням групи перемикачів.

Логіка виявлення кидка струму намагнічування активується при перевищенні робочої точкою пускової характеристики. Логіка деактивується при її блокуванні в разі зовнішнього пошкодження. Для надійного виявлення кидка струму намагнічування паралельно працюють 2 алгоритми, які показані на рис. 3.5:

- Визначення відношення складової 2-ї гармоніки до складової основної гармоніки в диференційному струмі (I_2 гарм / I_1 гарм). Якщо частка 2-ї гармоніки в фазному струмі перевищує задану уставку (параметр: 2 гарм.), то виконується пофазно селективне блокування захисту. Рівень вмісту гармонік у струмах різних фаз різниться. Також можливе одночасне виконання блокування захисту у всіх трьох фазах при перевищенні частки 2-ї гармоніки тільки в одній з фаз. Час даного блокування встановлюється за допомогою параметра Вр.перекр.блок.2гарм. Коректність розташування інтервалу фільтрації контролюється внутрішнім сигналом пуску.
- Аналіз форми характеристики (аналіз форми графіка струму - CWA). При включенні трансформатора між імпульсами струму з'являються тривалі паузи. Поява даних пауз одночасно у всіх 3 фазах характерна для процесу включення. Розглянутий алгоритм доповнює алгоритм виявлення БСН за вмістом 2-ї гармоніки, що забезпечує надійне визначення кидка струму намагнічування в будь-яких умовах. Внаслідок застосовуваного методу вимірювань даний алгоритм здійснює блокування захисту у всіх фазах одночасно. Метод

використовує внутрішні, жорстко задані порогові значення. При необхідності використання тільки одного алгоритму другий алгоритм можливо вивести з роботи.



Рисунок 3.5 – Логічна схема роботи функції Виявлення кидка струму намагнічування.

Блокування при перенасиченні.

Перезбудження в сталому режимі роботи характеризується наявністю непарних гармонік. Для виявлення перезбудження можливо використовувати 3-ю або 5-ю гармоніки. Однак, т. я. 3-я гармоніка для трансформаторів може бути відсутньою (наприклад, в разі використання обмотки, з'єднаної в трикутник), то контролюється 5-я гармоніка. Логіка блокування при збудження активується при перевищенні робочою точкою пускової характеристики. Логіка деактивується при її блокування в разі зовнішнього пошкодження. Перетворювальні трансформатори також є джерелом непарних гармонік, які практично відсутні при внутрішніх коротких замиканнях.

За допомогою фільтрів Фур'є 3-тя і 5-я гармоніки виділяються з миттєвих значень диференціального струму, а потім обчислюється частка зазначених гармонік в порівнянні з основною компонентою промислової частоти. При перевищенні даними співвідношенням уставки (Содерж.3гарм. Або Содерж.5гарм.) видається пофазно селективний сигнал блокування захисту. Також можливо виконати блокування одночасно усіх 3 фаз за

допомогою перехресного блокування (параметр: Вр.перекр.блок.3гарм. або Вр.перекр.блок.5гарм.). На відміну від алгоритму виявлення кидка струму намагнічування по 2-й гармоніці, блокування при збудженні виводиться з роботи в разі, якщо значення диференціального струму (складова основної частоти) перевищить граничне значення (параметр: Огр.Ідифф3і5гарм.). Роботу функцій при різних видах пошкоджень розглянуто на рис. 3.6.

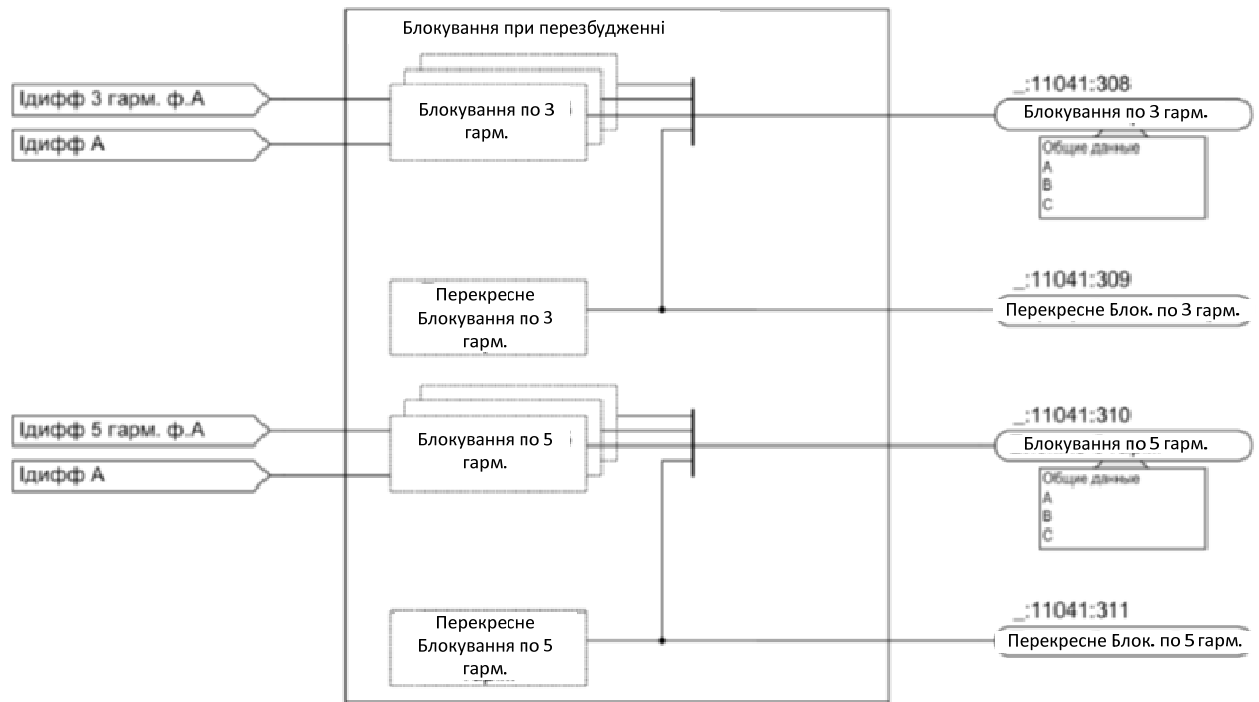


Рисунок 3.6 – Робота функції при різних видах ушкодження.

3.2 Розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту

При захисті трансформаторів струми вторинних обмоток повинні бути рівними між собою, щоб була можливість їх порівняти.

Первинні та вторинні номінальні струми всіх сторін трансформатора, що захищається визначаються за формулами:

$$I_{\text{НОМ1.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{НОМ}}}$$

$$I_{\text{НОМ1.НН}} = \frac{0,5 \times S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{НОМ}}}$$

$$I_{\text{НОМ.2}} = \frac{I_{\text{НОМ1}}}{K_{\text{ТР.ТС}}}$$

Де, $I_{\text{НОМ1.ВН}}$, $I_{\text{НОМ1.НН}}$ - номінальний первинний струм сторін трансформатора;

$I_{\text{НОМ.2}}$ - номінальний вторинний струм обмоток трансформатора;

$S_{\text{НОМ}}$ - номінальна потужність сторони;

$U_{\text{НОМ}}$ - номінальна напруга;

$K_{\text{ТР.ТС}}$ - коефіцієнт трансформації.

Розраховуємо первинний номінальний струм трансформатора:

$$I_{\text{НОМ1.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{НОМ}}} = \frac{160000}{\sqrt{3} \times 330} = 279,9 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ1.НН}} = \frac{0,5 \times S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{НОМ}}} = \frac{0,5 \times 160000}{\sqrt{3} \times 37} = 1248,32 \text{ А}$$

Розраховуємо вторинний струм в плечах захисту:

$$I_{\text{НОМ.2.ВН}} = \frac{I_{\text{НОМ1}}}{K_{\text{ТР.ТС}}} = \frac{279,9}{400/1} = 0,69 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ.2.НН}} = \frac{I_{\text{НОМ1}}}{K_{\text{ТР.ТС}}} = \frac{1248,32}{1000/5} = 6,24 \text{ А}$$

Результати розрахунку номінальних струмів зведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок номінальних струмів

Величина характеристики	330 кВ	35 кВ
$I_{\text{НОМ1}}$ А	279,9	1248,32
$K_{\text{ТР.ТС}}$	400/1	1000/5
$I_{\text{НОМ.2}}$ А	0,69	6,24

3.2.1 Вирівнювання струмів

Вирівнювання струмів є однією з проблем диференційного захисту трансформаторів. Для обраного у попередньому пункті МПРЗА

трансформатору SIPROTEC 7UT86 ця проблема вирішується шляхом внесення відносної похибки вирівнювання і врахування її при підрахунку уставок. [10]

Похибка визначається по значення вторинних струмів трансформатору та з усіх боків трансформатору становитиме $\Delta f_{\text{ВІР}} = 0,02$.

3.2.2 Розрахунок уставок тормозної характеристики диференційного захисту

Для зовнішніх КЗ диференційний струм спрацювання має задовольняти наступну умову:

$$I_{\text{дср}} \geq K_{\text{ВІД}} \times I_{\text{НБ.РОЗР}}$$

де $K_{\text{ВІД}} = 1,1$ – коефіцієнт відбудови,

$I_{\text{НБ.РОЗР}}$ – розрахункове значення струму небалансу, який розраховується за формулою:

$$K_{\text{НБ.РОЗР}} = \sqrt{(K'_{\text{пер}} \times \varepsilon^*)^2 \times [1 + 2 \cdot (\Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{ВІР}})] + (\Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{ВІР}})^2}$$

$K'_{\text{пер}} = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує перехідний процес у в.о, значення якого відповідно до силових трансформаторів, потужністю більше за 63 МВА.

$\varepsilon^* = 0,1$ - повна відносна похибка трансформаторів струму в установленому режимі,

$\Delta U_{\text{рег}}$ – відносна похибка, приймається рівною максимальному можливому відхилення від номінального положення РПН $\Delta U_{\text{рег}} = \pm 16\%$ - на стороні ВН, $\Delta f_{\text{ВІР}} = 0,02$ - відносна похибка вирівнювання струмів.

$$K_{\text{НБ.РОЗР}} = \sqrt{(1,5 \times 0,1)^2 \cdot [1 + 2 \times (0,16 + 0,02)] + (0,16 + 0,02)^2} = 0,25$$

$I_{\text{б.поч}} = 1,15$ – приймаємо у якості першого наближення.

$$I_{\text{dmin}} = K_{\text{ВІД}} \cdot K_{\text{нб.розрах}} \cdot \text{EndSection1} = 1,1 \cdot 0,25 \cdot 1,15 = 0,316$$

Розраховане значення знаходиться у рекомендованому діапазоні, тому у подальшому розрахунку немає необхідності.

Проведено розрахунок струму небалансу для 2-ї ділянки гальмівної характеристики:

$$K_{\text{НБ.РОЗР}} = \sqrt{(K_{\text{пер}}^* \times \varepsilon^*)^2 \times [1 + 2 \times (\Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{ВИР}})] + (\Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{ВИР}})^2}$$

$K_{\text{пер}}^* = 2,5$ – коефіцієнт, який враховує перехідний процес при аварійних струмах та обираємо значення для силових трансформаторів потужністю більше 63 МВА.

$$K_{\text{НБ.РОЗР}} = \sqrt{(2,5 \times 0,1)^2 \times [1 + 2 \times (0,16 + 0,02)] + (0,16 + 0,02)^2} = 0,342$$

Розрахуємо значення коефіцієнту S2 для другій ділянці уставки SlopeSection 2, за формулою:

$$S_2 \geq \frac{K_{\text{ВІД}} \times K_{\text{НБ.РОЗР}} \times I_{b.\text{розр}} - I_{d\text{Min}}}{I_{b.\text{розр}} - I_{b.\text{поч}}} = \frac{1,1 \times 0,342 \times 2 - 0,316}{2 - 1,15} = 0,51$$

Для другої ділянки розрахункове значення уставки SlopeSection 2 не повинно бути більше 0,5, згідно розрахунків умова виконується.

Приймаємо наступні уставки: $I_{d\text{Min}} = 0,316$; End Section 1 = 1.15; EndSection 2 = 3,0 (за замовчуванням); S2 (SlopeSection 2) = 0,51; S3 (SlopeSection 3) = 0,65 (за замовчуванням).

3.2.3 Розрахунок уставок диференційної відсічки

Для підвищення швидкодії у зоні роботи захисту при великих значеннях стурмів КЗ необхідно використовувати диференційну відсічку.

При розрахунку уставки враховують 2 умови:

- 1) Відстоювання від кидка струму намагнічування силового трансформатору
 $I_{\text{ВД}} \geq 6,5$;
- 2) Відстоювання від максимального значення первинного струму небалансу у перехідному режимі розрахункового зовнішнього короткого замикання.

Розрахувати уставку можна за наступним виразом:

$$I_{\text{ДВ}} \geq K_{\text{ВІД}} \times K_{\text{нб1}} \times I_{\text{наскріз.макс}}$$

де $K_{\text{ВІД}} = 1,1$ - коефіцієнт від стійки,

$K_{нб1} = 1$ – відношення амплітуди першої гармоніки струму небалансу до приведеної амплітуди гармонічної складової наскрізного струму.

$I_{наскріз.макс}$ – наскрізний максимальний струм трифазного КЗ на шинах обмотки низької напруги.

$$I_{наскріз.макс} = 2,86 \times \frac{\sqrt{3} \times 330}{160} = 10,21 \text{ в. о.}$$

Звідси за умовою відстоювання від максимального наскрізного струму уставка матиме значення

$$I_{ДВ} \geq K_{ВІД} \cdot K_{нб1} \cdot I_{наскріз.макс} = 1,1 \cdot 1 \cdot 10,21 = 11,23 \text{ в. о.}$$

3.2.4 Перевірка чутливості захисту

Перевіряємо чутливість захисту для горизонтальної ділянки гальмівної характеристики:

$$K_{ч} = \frac{I_{диф.розрах}}{I_{d.min}} = \frac{10,21}{0,316} = 32,31 \geq 2$$

Де, $I_{диф.розрах}$ – це відносний мінімальний розрахунковий диференціальний струм при КЗ на вводі трансформатору.

$$I_{диф.розрах} = \frac{I_{КЗ.НН}}{I_{ном.ВН}} = \frac{2860}{279,9} = 10,21$$

Відповідно до вимог ПУЕ захист відповідає чутливості.

Чутливість захисту на похилих ділянках гальмівної характеристики буде забезпечуватися завжди, так як виконується умова:

$$\frac{I_{d.min}}{EndSection\ 1} = \frac{0.316}{1.15} = 0.274 \leq 0.5$$

На рис. 3.7 зображено графік гальмівної характеристики.

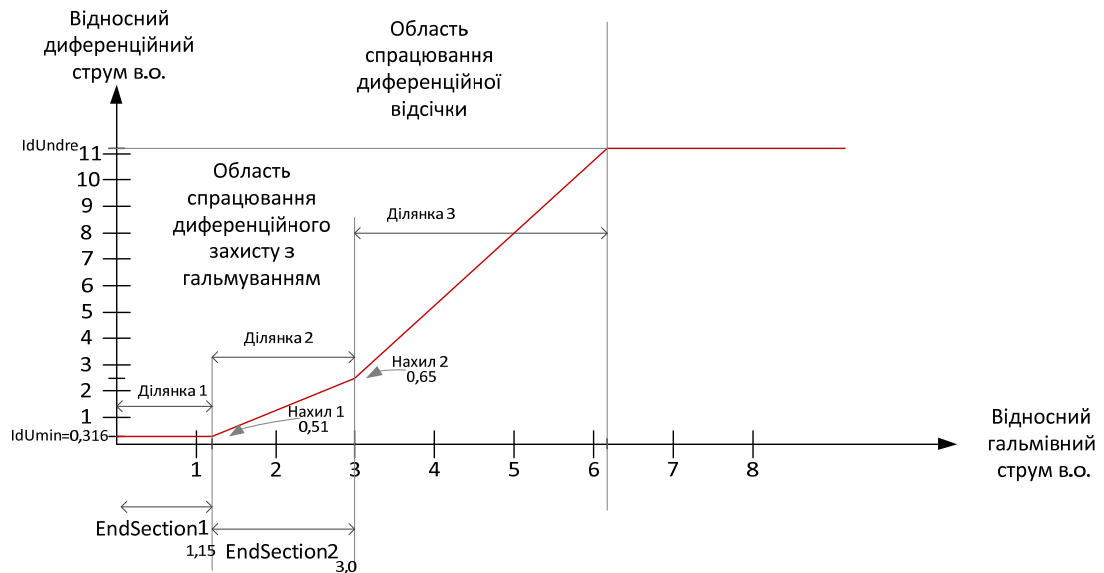


Рисунок 3.7 – Графік гальмівної характеристики

3.3. Розрахунок уставок спрацювання резервних захистів трансформатору

3.3.1. Розрахунок уставок спрацювання струмової відсічки сторони 330 кВ

Струмова відсічка є резервним до диференційного захисту і підключається до ТС сторони 330 кВ. Струм спрацювання відсічки визначається за двома умовами:

- 1) Відбудова від трифазного КЗ в кінці зони захисту.

$$I_{сз1} = K_{відс} \times I_{кз.зовн.макс}$$

Для мікропроцесорного пристрою 7UT86 $k_{відс} = 1,2$

Кінцем зони захисту є точка К2

(КЗ на шинах 35 кВ). Струм зовнішнього КЗ для напруги 35 кВ обчислено в розділі 1.2. Приводимо значення струму КЗ до напруги 330 кВ:

$$I_{к2_330_35} = \frac{35}{330} \times 6,971 = 0,73 \text{ кА} = 730 \text{ А}$$

Обчислюємо струм спрацювання за 1-ю умовою:

$$I_{сз1} = K_{відс} \times I_{кз.зовн.макс} = 1,2 \times 0,73 = 0,876 \text{ кА} = 876 \text{ А}$$

- 2) Відбудова від струму намагнічування трансформатору.

$$I_{c32} = k_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{н}_330}$$

Згідно табл. 3.2.3 $k_{\text{БТН}} = 2.5$

Номінальне значення струму сторони 330 кВ наведено у табл. 3.2.1.

Обчислюємо струм спрацювання за 2-ю умовою:

$$I_{c32} = K_{\text{БТН}} \times I_{\text{н}_330} = 2,5 \times 279,9 = 699,75 \text{ А}$$

З двох значень обираємо більше:

$$I_{c3} = \max(I_{c31}, I_{c32}) = 876 \text{ А}$$

3.3.2. Розрахунок уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатору

Струм спрацювання МСЗ вибирається за умовою відбудування від номінального струму силового трансформатора:

$$I_{c3} = \frac{K_{\text{н}} \times K_{\text{сзп}}}{K_{\text{п}}} \times I_{\text{н}}$$

де: $K_{\text{н}}$ - коефіцієнт надійності, рівний 1,2;

$K_{\text{сзп}}$ - коефіцієнт, що враховує самозапуск електродвигунів. Для даної підстанції $K_{\text{сзп}}=1,2$;

$K_{\text{п}}$ - коефіцієнт повернення. Для 7UT86 $K_{\text{п}}=0,96$;

$I_{\text{н}}$ - номінальний струм відповідної сторони трансформатору. Номінальне значення струму сторін трансформатору наведено у табл. 3.2.1.

Після обчислення струму спрацювання необхідно перевірити МСЗ на чутливість. Чутливість захисту обчислюється за формулою:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мін}}^{(2)}}{I_{c3}} \geq 1,5$$

де $I_{\text{кз.мін}}^{(2)}$ - мінімальне значення струму КЗ при металевому двофазному КЗ в кінці зони захисту.

3.3.2.1. Розрахунок уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатору сторони 330 кВ.

$$I_{сз} = \frac{K_H \times K_{сзп}}{K_{п}} \times I_{H,330} = \frac{1,2 \times 1,2}{0,96} \times 279,9 = 419,85 \text{ А}$$

$$K_{ч,330} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{к2,330,35}}{I_{сз,330}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \times 730}{419,85} = 1,51 > 1,5$$

Чутливість достатня.

3.3.2.2. Розрахунок уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатору сторони 35 кВ.

$$I_{сз,35} = \frac{K_H \times K_{сзп}}{K_{п}} \times I_{H,35} = \frac{1,2 \times 1,2}{0,96} \times 1248,32 = 1872,48 \text{ А}$$

$$K_{ч,35} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{к5,35}}{I_{сз,35}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \times 3486}{1872,48} = 1,61 > 1,5$$

Чутливість достатня.

3.3.3. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження трансформатору

Даний захист спрацьовує при симетричних перевантаженнях, він працює на сигнал із деякою витримкою часу, це дозволяє черговому персоналу вжити необхідних заходів щодо усунення перевантаження.

Струм спрацювання захисту відстроюється від номінального струму відповідної сторони автотрансформатора:

$$I_{сз} = \frac{k_{відс}}{k_{п}} I_H,$$

де: $K_{відс}$ - коефіцієнт відстроювання, рівний 1,08;

$K_{п}$ - коефіцієнт повернення. Для 7UT86 $K_{п}=0,96$;

I_H - номінальний струм відповідної сторони трансформатору. Номінальне значення струму сторін трансформатору наведено у табл. 3.2.1.

3.3.3.1. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження сторони 330 кВ трансформатору

$$I_{сз_330} = \frac{K_{відс}}{K_{п}} \times I_{н_330} = \frac{1,08}{0,96} \times 279,9 = 314,89 \text{ А}$$

3.3.3.2. Розрахунок уставок спрацювання захисту від перевантаження сторони 35 кВ трансформатору

$$I_{сз_35} = \frac{K_{відс}}{K_{п}} \times I_{н_35} = \frac{1,08}{0,96} \times 1248,32 = 1404,36 \text{ А}$$

Висновки

Під час виконання розділу були описані основні призначення та функцій пристрою РЗА 7UT86 фірми «Siemens» та розглянуто принцип роботи диференційного захисту.

Були розраховані основні уставки диференційного захисту ($I_{dMin} = 0,316$; End Section 1 = 1.15; EndSection 2 = 3,0 ; SlopeSection 2 = 0,51; SlopeSection 3= 0,65), зроблена перевірка на чутливість та зображено графік гальмівної характеристики.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В розділі розглянуто розробку ідеї стартап-проекту можливостей ринкового впровадження запропонованої конфігурації релейного захисту шини 330 кВ.

Релейний захист на підстанції є невід’ємною частиною нормального функціонування електроенергетичної системи, оскільки використовуючи релейний захист ми забезпечуємо мінімальні збитки при аваріях чи ненормальних режимах роботи енергосистеми.

4.1 Опис ідеї проекту

Шини є одними з найважливіших елементів трансформаторної підстанції, оскільки саме вони з’єднують елементи між собою. Пошкодження шини може привести до значного пониження напруги в енергосистемі, короткого замикання, несправності обладнання, втрати стійкості системи та великих збитків, тому до захисту привертається багато уваги.

В технічній частині магістерської дисертації враховано сучасний розвиток мікропроцесорної техніки та проведений доскональний аналіз всіх можливих конфігурацій захистів. Розглянуто та оцінено всі аспекти (технологічні, економічні, екологічні та інші) всіх запропонованих варіантів та вибрано ті які є найбільш перспективними для виконання поставленої задачі.

Опис ідеї стартап-проекту наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Реалізація проекту релейного захисту шини підстанції 330 кВ для мінімізації аварійних ситуацій	Використання системи релейного захисту при проектуванні нових підстанцій	Надійність роботи
		Захист обладнання

Продовження таблиці 4.1

	Використання при модернізації релейного захисту застарілих на новий	Зручність використання
		Безпека експлуатації
		Зменшення негативних наслідків від аварій
		Перспектива модернізації

Перед розробкою проекту було проаналізовано ще два проекти по системам релейного захисту шин 330 кВ.

Проект ТОВ «Енерсіс Україна» обрано першим конкурентом.

Для захисту шин 330 кВ передбачено використання пристрою резервування марки «Siemens» типу SIPROTEC 7SS52. Для шиноз'єднувального вимикача 330кВ передбачено пристрій марки «Siemens» типу SIPROC 7SJ85. Термінали повинні бути інтегровані в систему АСУ ТП з можливістю управління дистанційно та місцево.

Проект ООО «Енерго Інжинірінг» обрано другим конкурентом.

Для захисту шин встановлено 4 окремих релейних захисти (два захисти відіграють роль основних, в два-дублюючих). Для шиноз'єднувального вимикача 330кВ передбачено комплект ступінчатих токових захистів з додатковою можливістю прискорення дії цих захистів від оперативних перемикачів.

Третій проект - учбовий проект студентки 6^{го} курсу Шкурат Анни Ігорівни.

В даному проекті для захисту шин використовуються пристрої марки АВВ. Пристрої обираються по правилам улаштування електроустановок та з економічною вигодою.

Порівняння та визначення сильних(S), слабких(W) та нейтральних(N) характеристик ідеї проекту наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2. – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики	Власний проект	Конкурент №1	Конкурент №2	W	N	S
Кількість пристроїв РЗА	2	2	4	К-№2	ВП, К-№1	-
Кількість трансформаторів струму	7	7	14	К-№2	ВП, К-№1	-
Витрати на обслуговування за рік	65 000 грн	68 000 грн	92 000 грн	К-№2	К-№1	ВП

З даного переліку характеристик можна побачити, що запропонований проект не сильно відрізняється від першого конкурента, але якщо врахувати що власний проект виконується на мікропроцесорних пристроях марки АВВ, що при подальшій модернізації підстанції дозволить підключити ще лінії, замість встановлення додаткового обладнання. З огляду на це власний проект є вигіднішим.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Можливість реалізації проекту, а саме технологічний аудит наведений у табл. 4.3.

Таблиця 4.3. – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Проект релейного захисту шини підстанції 330 кВ	Ознайомлення з характеристиками шини та кількістю можливих підключень	Наявні	Обмежений доступ
	Ознайомлення з вимогами та стандартами до шин	Наявні	Доступні
	Розташування та кількість релейного захисту	Наявні	Доступні
	Підключення релейного захисту	Наявні	Доступні
	Комплектація шафу релейного захисту шини	Розробити	Доступні

Для реалізації даного проекту спочатку необхідно отримати дані про шини та їх підключення та ознайомитись з вимогами до захисту шин. Після вибору релейного захисту необхідно замовити шафу для нього та врахувати все необхідні умови.

4.3 Фінансово-економічний аналіз проекту

Для успішного виконання проекту необхідно розрахувати вартість обладнання, результати розрахунку можна побачити в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. – Розрахунок вартості проекту

Назва	Власний проект Вартість, грн	Конкурент №1 Вартість, грн	Конкурент №2 Вартість, грн
Розрахунок вартості обладнання (грн)			
Пристрої релейного захисту	285 100	310 760	466 150
Трансформатори струму	6 713	6 713	13 426
Шафа релейного захисту	19 000	19 000	17 000
Система живлення	75 000	75 000	75 000
Кабелі приєднання	5 000	5 000	10 000
Монтажні роботи	12 000	25 000	18 000
Проектна робота	18 000	29 000	24 000
Пусконаладжувальні роботи	20 000	30 000	21 000
Транспортні витрати	1 500	2 000	1 000
Витратні матеріали	3 500	3 500	4 000
<u>Всього</u>	445 813	505 973	649 576
Розрахунок щорічних витрат (грн/рік)			
Витрати на обслуговування	65 000	68 000	92 000
Витрати на електроенергію	2 350	2 200	3 100
<u>Всього</u>	67 350	70 200	95 100

Продовження таблиці 4.4

ВСЬОГО	513 163	576 173	744 676
Показники економічної ефективності			
Рентабельність до собівартості Зекономлена вартість при можливих аваріях/величину витрат	0,226	0,199	0,156

За даними таблиці можна побачити, що найбільш економічно вигідним є власний проект.

4.4 SWOT- аналіз стартап-проекту

SWOT-аналіз загроз та можливостей, сильних та слабких сторін на основі виділених ринкових загроз, можливостей, сильних та слабких сторін представлений у табл. 4.5.

Таблиця 4.5. – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
Низька вартість через невелику кількість персоналу	Відсутність досвіду роботи проектувальника
Менші витрати на обслуговування	Відсутність іміджу на ринку
Індивідуальний підхід до кожного проекту	
Можливості	Загрози
Надання послуг з модернізації, налагодження релейного захисту замовнику	Відсутність клієнтської бази
Співпраця з іншими компаніями	Велика кількість конкурентів
	Зростання ціни на обладнання

4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Гарна маркетингова компанія дозволить представити товар у якнайкращому вигляді. Для її розробки підсумовані результати аналізу конкурентоспроможності товару, які наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує проект	Ключові переваги перед конкурентами
Надійність	Довговічність	Забезпечує надійну роботу шин з можливістю захисту більшої кількості приєднань
	Можливість подальшої модернізації	
	Висока швидкодія	
Економічність	Менша вартість проекту	Економічно найпривабливіший серед конкурентів
	Менша вартість подальшої експлуатації	

За даними таблиці можна побачити, що одним з ключових факторів гарної маркетингової компанії є виготовлення якісної продукції з меншою вартістю, порівняно з конкурентами.

Висновки

В даному розділі розглянуто розробку стартап-проекту, основна ідея якого полягає у впровадженні схеми релейного захисту шини 330 кВ. Були визначені сильні та слабкі сторони проекту під час проведення техніко-економічного аналізу. Був проведений технологічний аналіз для визначення можливості реалізації проекту. Також виконано його фінансово-економічний аналіз. Після SWOT-аналізу є зрозумілим, що проект виконати можливо. Основною складністю проекту є виведення на ринок та відсутність клієнтської бази, але через меншу вартість та високу надійність є найвигіднішим серед представлених конкурентів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

При експлуатації релейного захисту на лінії 330 кВ не уникнути небезпечних та шкідливих виробничих ситуацій які мають відповідні якісні і кількісні висновки. На підстанції в залах релейного захисту знаходяться шафи, в які встановлюється релейний захист. Робоча напруга релейного захисту становить 100 В.

Мета розділу: впровадження заходів, з метою зниження злоякісних виробничих чинників, які можуть виникнути при експлуатації релейного захисту.

Об'єкт досліджень: експлуатація релейного захисту.

Предмет досліджень: новітні засоби і заходи з охорони праці та безпеки виконання робіт з експлуатації релейного захисту лінії 330 кВ.

5.1 Загальна характеристика об'єкта

Загальна характеристики релейного об'єкта наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Характеристики об'єкта

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого міста	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
Трансформаторна ПС	Внутрішня ЕУ	Окреме приміщення на поверхні землі	Приміщення з підвищеною небезпекою	Категорія Д

Характеристики релейного захисту, який буде експлуатуватися наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. – Характеристики релейного захисту

Основні характеристики	Значення показника
Призначення	Диференційний захист лінії
Фірма	Хартрон-Інкор
Тип	Діамант L040
Розташування	Релейна зала, другий ряд шаф релейного захисту, комірka №9
Напруга вимірювальних кіл	100 В
Напруга оперативного струму	220 В

5.2 Визначення обсягів робіт під час експлуатації

Обсяг робіт по експлуатації релейного захисту наведений у табл. 5.3.

Таблиця 5.3. – Обсяг робіт по експлуатації релейного захисту

Вид роботи	Спосіб доставки	Тривалість виконання робіт	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Експлуатація релейного захисту	В ручну	Літній, 2 дні	3 особи	IV або вища

5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях

Показники умов праці та їх характеристики наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4. – Показники умов праці та їх характеристики

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показника
Параметри мікроклімату [18]	Температура повітря	(18...22) °С
	Вологість	(65-75) %
Важкість праці [20]	Переміщення вантажів	До 10 кг
	Робоче положення	«Стоячи»
	Категорія	II категорія

Продовження таблиці 5.4

Напруженість праці [19]	Тривалість зосередженого спостереження	70 % робочого часу
	Тривалість активних дій	60 % робочого часу
	Змінність	3 10:00 по 16:00 (6 годин) 1 зміна
	Напруженість органів чуття (зір)	30 % робочого часу

5.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Шкідливі і небезпечні виробничі чинники, які виникають у ході експлуатації релейного захисту наведені у табл. 5.5.

Таблиця 5.5. – Шкідливі і небезпечні виробничі чинники

Шкідливі і небезпечні чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Напруга	100 В	6 В
Струм	1 А	0,6 мА

5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Технічні та організаційні заходи з безпеки праці при експлуатації релейного захисту наведені у табл. 5.6. [22]

Таблиця 5.6. – Технічні та організаційні заходи з безпеки праці

Вид заходу	Найменування заходу	Характеристики
Вид розміщення	Шафа релейного захисту	Габарити шафи: 60x120x50 см
Блокування дверей шафи	Замок врезной Арес 1523/60-G	Кількість ригелей - 3 Тип механізму секретності- Цилиндровий Тип ригеля-Цилиндричний Діаметр ригелей-12 мм
Захисне заземлення шафи	Глухозаземлена нейтраль	$R_3=8,5 \text{ Ом}$
Розміщення знаку безпеки	Знак безпеки	Встановлюється на електроустановках на видимих місцях на висоті 2-2,5 м від рівня підлоги на корпусі шаф
Категорія робіт щодо заходів безпеки	Робота без напруги	Наряд-допуск до 2 робочих дні
Розміщення плакатів безпеки	Заборонний плакат, розміщується на на приводі управління комутаційними апаратами та кнопках.	 <p>Забороняє подачу напруги на лінію.</p>

Продовження таблиці 5.6

	Застережний плакат, розміщується на ЕУ	 <p>Попереджує про небезпеку при наближенні.</p>
	Настановчі плакати є переносними	 <p>Вказують на робоче місце.</p>
	Вказівний плакат є переносним	 <p>Вказує на місце заземлення.</p>

5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Обрані засоби індивідуального захисту наведені в табл. 5.7. [21]

Таблиця 5.7. – Засоби індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка, модель, матеріал	Термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Костюм загально-виробничий	ЗСМаркет Карго, поліестер, бавовна	1 рік	Робочий, захисний
Захисне взуття	Захист від напруги та механічних ушкоджень	CALZA TURIFICIO 5BI MG40519-3B, натуральна шкіра	1 рік	Ходовий шар з гуми подвійної щільності з високими діелектричними властивостями
Захист рук	Захист від напруги та механічних ушкоджень	Lahti PRO10 поліестер, нейлон	6 робочих змін	Антиковзні, для роботи з електрообладнанням
Захист голови	Захист від електричного впливу та ушкоджень	Delta Plus, поліпропилен	2 роки	Для роботи з електрообладнанням

Оскільки експлуатація проводиться на ПС, необхідно передбачити захисні засоби від електричного впливу, які мають бути використані при ремонті, зміні конфігурацій, планових технічних оглядах. Обрані електрозахисні засоби наведені у вигляді табл. 5.8.

Таблиця 5.8. – Перелік електрозахисних засобів

ВИД ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення та норми випробувань
Електрозахисний засіб індивідуального захисту	Діелектричні рукавички	Для робіт з напругою до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту Раз на 6 місяці
	Діелектричне взуття	Для робіт з напругою до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту
	Діелектрична каска	Для робіт з напругою до 1 кВ	Підключення ЕУ після ремонту

5.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

При експлуатації релейного захисту необхідно обрати первинні засоби для тушіння пожеж та технічні, організаційні засоби. [15] Заходи із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій наведені у табл. 5.9.

Таблиця 5.9. – Заходи із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічні		
Углекислотний вознегасник ОУ-15	Пересувний, дія-15 с, довжина струмені-4 м Вогнегасна здатність- 70В	Розміщено на входах в релейну залу в спеціально відведеному місці, на стіні

Продовження таблиці 5.9

Датчики диму	Марка - Артон СПД-3.2 Підключення- дротове Покриваєма площа- S=20 м	Кількість-2 шт. Встановлено під стелею на відстані 20м Під'єднано до загальної охоронно-пожежної сигналізації ПС
Організаційні		
План дій з попередження пожеж та вибухів	Розміщення шаф РЗ таким чином, щоб був вільний доступ до аварійних виходів, розміщення планів евакуації на рівні зору людини на легкодоступній частині стіни, заборона на вживання їжі, розпиття напоїв, знаходження у нетверезому стані, паління.	Відповідальний за охорону праці на ПС, згідно чинних норм
Навчання та тренінги	Щопівроку	Відповідальний за охорону праці на ПС, згідно чинних норм

5.8 Розрахунок заземлювального пристрою

Розрахунок на вимикаючу здатність передбачає розрахунок струму однофазного короткого замикання $I_{кз}$ і співставлення отриманої величини зі значенням номінального струму спрацьовування МСЗ.

Розрахункова формула для визначення $I_{кз}$ має такий вигляд:

$$I_{кз} = U_{\phi} / \sqrt{(r_{\phi} + r_{PE} + r_{TP})^2 + (x_{\phi} + x_{PE} + x_{TP})^2}$$

Де U_{ϕ} -фазна напруга, В

r_{ϕ}, r_n, r_{TP} -активний опір фазного, нульового проводів і трансформатора, Ом

x_{ϕ}, x_n, x_{TP} - реактивний опір фазного, нульового проводів і трансформатора,

Ом

r_{PE}, x_{PE} - активний і реактивний опори захисного проводу

Розрахункова формула матиме вигляд:

$$I_{кз} = U_{\phi} / \sqrt{(r_{\phi} + r_{PE} + (r_{TP}/3))}$$

Формула для визначення фазної напруги:

$$U_{\phi} = U_L / \sqrt{3}$$

Активний опір фазного та нульового провідника визначають за формулою:

$$r = \sum_{i=1}^n (p_i \times l_i) / S_i$$

Де p_i -питомий опір матеріалу проводів

l_i -довжина ділянки проводу одного матеріалу та одного перерізу

S_i -площа поперечного перерізу проводу

Активний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$r = (P_{кз} \times U_{НОМ}^2) / S_{НОМ}^2$$

Визначаємо фазну напругу:

$$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57,735 \text{ В}$$

Визначаємо активний опір фазного провідника:

$$r_{\phi} = \frac{(p \times l)}{S} = \frac{0,1 \times 200}{150} = 0,133 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний опір нульового провідника:

$$r_{PE} = \frac{(p \times l)}{S} = \frac{0,1 \times 20}{70} = 0,029 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний опір трансформатора:

$$r_{TP} = \frac{(R_{K3} \times U_{НОМ}^2)}{S_{НОМ}^2} = \frac{8,25 \times 100^2}{300^2} = 0,917 \text{ Ом}$$

Визначаємо струм короткого замикання:

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{\left(r_{\phi} + r_{PE} + \left(\frac{r_{TP}}{3}\right)\right)}} = \frac{57,735}{0,133 + 0,029 + \left(\frac{0,917}{3}\right)} = 123,508 \text{ А}$$

Розрахунок напруги на корпусі електроустановки

Без повторного заземлення захисного провідника напруга на корпусі U_K ЕУ визначається за формулою:

$$U_K = I_{K3} \times Z_c \leq U_d(t_c)$$

Де $U_d(t_c)$ -допустима напруга дотику

Z_c -повний опір захисного проводу

$$U_K = I_{K3} \times Z_c = 0,123,508 \times 0,029 = 3,582 \text{ В}$$

$$3,582 \text{ В} < 36 \text{ В}$$

Умови рівності виконуються.

Висновки

Під час виконання розділу були розглянуті питання щодо охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації релейного захисту на лінії на ПС 330/35кВ.

Було визначено обсяг робіт та умови праці. Приміщення, у якому будуть проводитись експлуатація з підвищеною небезпекою. Найбільш небезпечними під час оцінки шкідливих чинників було визначено напругу та струм, ураження від яких може нанести велику шкоду для працівників. Були визначені технічні та організаційні заходи з безпеки праці, а саме установка

захисного заземлення шафи з експлуатації засобу релейного захисту з глухозаземленою нейтраллю ($R_{зз}=8,5 \text{ Ом}$), розміщення знаку безпеки, визначення наряду-допуску та перелік спеціальних плакатів безпеки. Для працівників було обрано індивідуальний захисний одяг та електрозахисні засоби. Було обрано заходи для попередження надзвичайних ситуацій для уникнення нещасних випадків серед працівників під час модернізації. Для обраного захисного заземлення буди проведені розрахунки та встановлено струм короткого замикання кабелю заземлення ($I_{кз}=123,508 \text{ А}$) та величину напруги на корпусі електроустановки ($U_k=3,582 \text{ В}$). Умови рівності були виконані.

ВИСНОВКИ

Перший розділ магістерської дисертації присвячений головній схемі підстанцій 330/35 кВ «Тилігул», було описано основні характеристики підстанції. Було описане обладнання підстанції. Було зроблено розрахунок КЗ на трансформаторі.

В другому розділі розглядалися види релейного захисту для підстанції та зробено вибір обладнання.

У третьому розділі було розглянуто функції пристрою РЗА 7UT68 та розраховано уставки спрацювання. Приведений графік гальмівної характеристики.

Четвертий розділ - розроблення стартап-проекту, основною ідеєю якого було впровадження схеми РЗ шини 330 кВ. Були визначені сильні та слабкі сторони проекту. На основі аналізу було визначено, що реалізація проекту є вигідною і створює можливості для успішного старту компанії.

Під час виконання п'ятого розділу були розглянуті питання щодо охорони праці й безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації релейного захисту на лінії на ПС 330/35кВ. Було проведено аналіз умов праці, можливих небезпек та шкідливих виробничих чинників, через що було обрано засоби для індивідуального захисту та запропоновано список технічних й організаційних заходів для безпечної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. – 4-е изд. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с. – ISBN 5-283-01086-4
2. Коровин, Ю.В. Расчёт токов короткого замыкания в электрических системах: учебное пособие / Ю.В. Коровин, Е.И. Пахомов, К.Е. Горшков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 114 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем: учебное пособие / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с
4. Правила улаштування електроустановок : 2010. – Офіц. вид. – К. :Форт : Мінпаливенерго України. 2010.– 692с.
5. SIPROTEC 5. Обзор системы. Защита, автоматика и мониторинг: [каталог]. – Германия : Siemens AG, 2017. – 112 с.
6. Многофункциональное Устройство Защиты и Местного Управление: [каталог]. – Германия : Siemens AG, 2008. – 734 с.
7. 7UT85-7UT86-7UT87 Руководство по эксплуатации V04.00 (RU): [каталог]. – Германия : Siemens AG, 2003. – 366 с.
8. UT86 SIPROTEC 5 5.01.: [каталог]. – Германия : Siemens AG, 2016. – 2 с.
9. Шабад М.А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей/М.А. Шабад – 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 296 с.
10. Конспект лекцій з релейного захисту.
11. СОУ НЕК 20.261, 2019.- 30 с.
12. СОУ НЕК 35.101, 2018. – 7 с.
13. Третьякова Л.Д., Литвиненко Г.Є. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2008. 317 с.

14. Жиდეцький В.Ц., В.М. Джигирей, В.С. Сторожук. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 348 с.
15. ДБН В.2.5-56:2010. Державні будівельні норми. Системи протипожежного захисту. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 34 с.
16. НАПБ А.01001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 45 с.
17. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 26 с.
18. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 56 с.
19. ДБН В.2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 67 с.
20. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: наказ від 08.04.2014.м. N 248. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2014. 85 с.
21. ДСТУ ISO 13688:2001. Одяг захисний. Загальні вимоги. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2002. 6 с.
22. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Київ: Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2009. 598 с.